

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

“LA RANA NEL NUOTO: CARATTERISTICHE ED EVOLUZIONE”

Relatore: Prof. Nicola Doria

Laureando: Giovanni Busato

N° di matricola: 1224207

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

| | |
|--|-----------|
| ABSTRACT..... | 3 |
| CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE ALLO STILE..... | 5 |
| 1.1 Storia della rana | 5 |
| 1.2 Regolamento FINA..... | 7 |
| CAPITOLO 2 – LA BIOMECCANICA DELLA RANA | 9 |
| 2.1 La bracciata | 9 |
| 2.2 La gambata..... | 12 |
| 2.3 La subacquea | 14 |
| CAPITOLO 3 – I PARAMETRI SPAZIO-TEMPORALI | 19 |
| 3.1 Stoke rate e stroke length | 19 |
| 3.2 La velocità | 22 |
| 3.3 L’andamento del centro di massa | 24 |
| 3.4 La coordinazione braccia-gambe | 27 |
| CAPITOLO 4 – L’EFFICIENZA DELLA NUOTATA..... | 31 |
| 4.1 Il costo energetico | 31 |
| 4.2 La resistenza all’avanzamento | 34 |
| 4.3 L’azione muscolare | 36 |
| CAPITOLO 5 – L’EVOLUZIONE NEL TEMPO | 39 |
| 5.1 La progressione del record del mondo | 39 |
| 5.2 La rana delfinata | 42 |
| CONCLUSIONI | 45 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 47 |
| RINGRAZIAMENTI..... | 51 |

ABSTRACT

L'obiettivo di questo elaborato è quello di descrivere le caratteristiche dello stile della rana e osservare la sua evoluzione nel tempo. La biomeccanica del ciclo è analizzata nelle sue diverse fasi, che vengono scomposte e confrontate con le possibili modalità di svolgimento. Vengono poi studiati i parametri spazio-temporali che definiscono la cinematica della rana, così da individuare la tipologia di nuotata adatta per la distanza da nuotare in situazione di gara. Inoltre, viene posta l'attenzione sull'efficienza dello stile, tenendo presente dell'alto consumo energetico, dell'azione dei muscoli coinvolti e delle resistenze che vengono generate durante il gesto. Infine, vengono proposti dei focus sulla cosiddetta "rana delfinata" e sull'andamento dei record del mondo segnati negli ultimi decenni, esaltando l'importanza degli studi scientifici che stanno rivoluzionando questo stile.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE ALLO STILE

Il nuoto è uno sport che ha segnato la mia crescita come persona in tutti gli aspetti: mi ha insegnato cos'è il sacrificio, la pazienza, il rispetto e l'etica del lavoro. In particolare, la rana è lo stile che ha accompagnato le mie giornate in piscina e mi ha formato sia fisicamente che mentalmente. Per questi motivi, lo stile della rana è il soggetto di questa tesi, nata dal bisogno di provare a restituire al nuoto ciò che esso ha dato a me.

1.1 Storia della rana

La rana è uno dei quattro stili che caratterizzano il nuoto competitivo, assieme al delfino, il dorso e il crawl. Le sue origini risalgono ai tempi degli Antichi Egizi, degli Assiri e dei Babilonesi, i quali hanno lasciato testimonianze nei papiri, dove viene descritto il nuoto come tecnica di caccia, pesca e combattimento in guerra per aggirare soldati nemici tramite via acquatica (Trendafilov, 2015). Anche nelle civiltà europee le attività acquatiche venivano praticate, ma principalmente a scopo militare: gli Antichi Romani allenavano le loro legioni nell'abilità del nuoto (Trendafilov, 2015).

Le finalità del nuoto subirono un cambiamento radicale in Europa tra il XIV e il XVIII con l'avvento del Rinascimento, quando si pose l'attenzione anche sulla crescita fisica oltre a quella intellettuale. Nel 1538 venne pubblicata ad Augusta "Kolimbretika", di Nicolas Widmann, la prima guida sul nuoto; parallelamente alla pubblicazione di quest'opera, ci fu un considerevole aumento della costruzione di piscine, che portò allo sviluppo graduale del nuoto anche tra la massa (Trendafilov, 2015).

Verso la fine del XVII secolo ci fu una diffusione di scuole di allenamento nell'Europa Centro-Orientale (Parigi, Berlino, Vienna, Praga, Russia), nelle quali l'insegnamento della tecnica della rana fu quello più diffuso. A causa del largo sviluppo di questo stile, soprattutto in Inghilterra, la rana fu il primo stile soggetto ad allenamento e protagonista di gare natatorie (Trendafilov, 2015). Questa tendenza cambiò quando nel secolo scorso avvenne l'importazione di altri stili diffusi in Nord America, tra tutti il crawl.

Nella prima fase della tecnica moderna, l'azione delle gambe era descritta come “*wedge kick*”, nella quale la fine del calcio era un'adduzione simmetrica degli arti inferiori, in modo da spingere verso dietro la porzione di acqua tra le gambe ottenendo così una propulsione in avanti. Il maggior rappresentante di questa tecnica fu Eric Rademacher, la quale comprendeva anche una remata subacquea della mano fino alla linea delle spalle, per generare una propulsione frontale anche da parte degli arti superiori (Trendafilov, 2015).

La strategia nel movimento delle gambe mutò notevolmente durante lo sviluppo della tecnica del delfino e negli anni successivi alle Olimpiadi di Londra 1948, quando il focus venne posto nell'avvicinamento dei piedi invece che nell'adduzione delle gambe in toto. Nacque così il “*circular pushing kick*”, dove la propulsione veniva prodotta nonostante una minore resistenza prodotta dalle gambe, favorendo inoltre una posizione più alta delle spalle in acqua, garantendo maggior galleggiamento (Trendafilov, 2015).

1.2 Regolamento FINA

La *Fédération Internationale de Natation* (FINA) è l'associazione di Federazioni Nazionali che ha il compito di produrre le norme che disciplinano gli sport acquatici, quindi di creare il regolamento che definisce il modello prestativo del nuoto. La tecnica di ogni stile è cambiata nel tempo in funzione delle regole decise dalla FINA.

La nuotata della rana, in particolare, ha subito molte modifiche nel corso degli ultimi decenni, ma sostanzialmente è rimasto uno stile simmetrico e discontinuo. Nel 1953 avviene il separamento dei due stili rana e farfalla, precedentemente non distinti. Prima del 1987 il regolamento prevedeva che il capo dovesse rimanere fuori dalla superficie dell'acqua durante lo svolgimento del ciclo completo, mentre dopo il 2005, fu possibile effettuare una sola gambata a delfino durante la subacquea dopo il tuffo e la virata. Il seguente regolamento è in vigore dal 21 settembre 2017 e tutt'ora valido per tutte le competizioni ufficiali.

Dopo la partenza e dopo ogni virata, il nuotatore può effettuare una sola bracciata completa all'indietro fino alle gambe durante la quale lo stesso può rimanere immerso. Dopo la partenza e dopo ciascuna virata, in qualsiasi momento precedente il primo calcio a rana è consentito un unico calcio a delfino, a seguito del quale, tutti i movimenti delle gambe devono essere simultanei e nello stesso piano orizzontale senza movimenti alternati. La testa deve rompere la superficie dell'acqua prima che le mani ruotino verso l'interno al culmine della parte più ampia della seconda bracciata.

Per tutta la competizione, il ciclo di nuotata deve essere costituito nell'ordine da una bracciata seguita da un colpo di gambe. Tutti i movimenti delle braccia devono essere simultanei e sullo stesso piano orizzontale, senza movimenti alternati.

Le mani devono essere spinte in avanti insieme dal petto sopra, sotto o alla superficie dell'acqua. I gomiti devono rimanere sotto la superficie dell'acqua, ad eccezione dell'ultima bracciata prima della virata, durante la virata e nella bracciata finale all'arrivo. Le mani devono essere riportate indietro, sotto o alla superficie dell'acqua. Le mani non devono essere riportate indietro oltre la linea delle anche, ad eccezione che nella prima bracciata dopo la partenza e dopo ogni virata. Durante ogni ciclo completo una parte qualsiasi della testa dell'atleta deve rompere la superficie dell'acqua.

Tutti i movimenti delle gambe devono essere simultanei e nello stesso piano orizzontale, senza movimenti alternati. Durante la parte propulsiva del colpo di gambe, i piedi devono essere ruotati verso l'esterno. Non sono permessi movimenti alternati e calci a delfino verso il basso, ad eccezione di quanto previsto nelle fasi di subacquea.

Il tocco, ad ogni virata e all'arrivo della competizione, deve essere effettuato con entrambe le mani separate e simultaneamente sopra, sotto o al livello dell'acqua. Durante l'ultima bracciata, prima della virata e dell'arrivo è permesso effettuare una bracciata non seguita da un calcio delle gambe (FINA, 2017).

CAPITOLO 2

LA BIOMECCANICA DELLA RANA

In questa sezione, la nuotata della rana viene scomposta nelle sue principali componenti, le quali vengono analizzate e confrontate secondo la letteratura scientifica e le direttive federali. Ogni azione degli arti superiori e inferiori è divisa in fasi che variano a seconda delle teorie e degli studi condotti.

2.1 La bracciata

La divisione in fasi della bracciata a rana è un argomento molto discusso nella letteratura scientifica. Seifert e Chollet (2005) dividono la bracciata in cinque fasi, Martens e Daly (2012) assieme a Takagi, Sugimoto, Nishijima e Wilson (2004) la distinguono in quattro fasi, mentre Troup (1999) individua soltanto tre momenti.

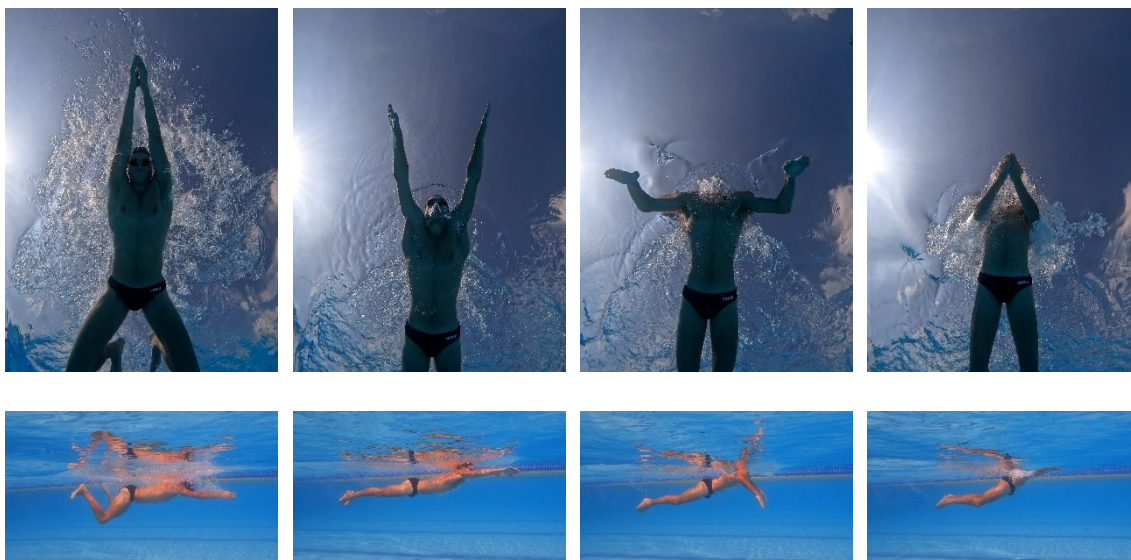
Le cinque fasi della bracciata individuate da Seifert e Chollet (2005) sono le seguenti:

- Scivolamento (*arm glide*): periodo tra la massima estensione del braccio e l'inizio della presa *backsweep*, ovvero la flessione palmare della mano.
- Propulsione della mano (*arm propulsion*): fase tra l'inizio e la fine del *backsweep* della mano, in cui si effettua la flessione a 90° del gomito e l'adduzione sul piano frontale dell'omero.
- Spinta (*elbow push*): tempo tra la fine del *backsweep* e l'inizio del recupero delle braccia, dove avviene la flessione di gomito e la supinazione del braccio, azione definita *insweep*.
- Propulsione degli arti superiori (*upper limb propulsion*): definita come la sommatoria delle due fasi precedenti
- Recupero (*recovery phase*): inizia con la fine della spinta e termina con la completa estensione delle braccia frontalmente alla faccia, dove avviene una pronazione del braccio e quindi della mano

Martens e Daly (2012) dividono la bracciata a rana in due fasi di traslazione (*outsweep* e *insweep*) e due fasi di rotazione (pronazione e supinazione).

Takagi et al (2004) individuano quattro momenti nell'azione delle braccia:

- Recupero (*recovery phase*): periodo tra la massima flessione di gomito sotto il petto e la massima estensione delle braccia di fronte alla faccia
- Scivolamento (*glide phase*): l'inizio coincide con la fine del recupero e termina con il primo movimento laterale del braccio
- *Outsweep*: dal primo movimento laterale del braccio fino a quando la mano effettua un movimento di spinta verso il basso e indietro
- *InswEEP*: dalla fine dell'*outsweep* fino a quando le mani si congiungono per iniziare la fase di recupero



Le rispettive quattro fasi della bracciata individuate da Takagi et al. (2004), visioni subacquee inferiore e laterale.

Nella descrizione della biomeccanica degli stili nel nuoto svolta da Troup nel 1999, l'azione delle braccia nella rana è invece distinta in tre momenti: *outsweep*, *insweep* e recupero. Anche nelle dispense rilasciate dalla Federazione Italiana Nuoto agli istruttori di nuoto la bracciata a rana è suddivisa in tre fasi (FIN, 2014), ma diverse da quelle individuate da Troup:

- Presa: la mano e l'avambraccio vengono flessi e portati leggermente verso l'esterno

- Trazione: avviene verso l'esterno e indietro fino alla linea delle spalle, con un'ampiezza massima corrispondente al doppio della larghezza delle stesse
- Recupero: si conducono rapidamente le braccia in avanti passando sotto il petto e si conclude con i palmi delle mani verso il basso

Mentre negli altri tre stili l'azione delle braccia è distinta in quattro momenti (quali presa, trazione, spinta e recupero), nel caso della rana la fase di spinta è inesistente, poiché nella bracciata non è previsto il superamento delle anche secondo il regolamento FINA. Questa limitazione non permette dunque al nuotatore di spingere l'acqua a braccio semi-disteso come nel dorso, crawl e delfino, ma solamente di effettuare una trazione con gomito flesso che arriva fino all'altezza delle spalle.

Confrontando questi diversi punti di vista si possono trarre dei punti chiave per l'esecuzione. La fase di recupero deve essere svolta con le braccia sotto il petto e durante questa azione il gomito passa dalla massima flessione alla massima estensione. Nel corso degli anni la bracciata a rana è cambiata nell'esecuzione, passando dalla ricerca di una traiettoria più larga dovuta da prolungato *outswEEP* (Troup, 1999) (Takagi et al., 2004), allo svolgimento di una traiettoria più stretta limitando l'*outswEEP* e sfruttando la fase di trazione (FIN, 2014) in cui il gomito si flette fino ai 90° (Seifert & Chollet, 2005).

2.2 La gambata

Anche l'azione delle gambe nella nuotata a rana è soggetta a discussioni in merito alla suddivisione in fasi. Seifert e Chollet (2005) dividono la gambata in cinque fasi mentre Takagi et al. (2004) ne individua tre.

Secondo Takagi et al. (2004) la gambata a rana è suddivisa in *sweep*, *lift & glide* e *recovery*. Negli studi proposti da Seifert e Chollet (2005), a questi tre momenti se ne aggiungono altri due, che possiamo così riassumere:

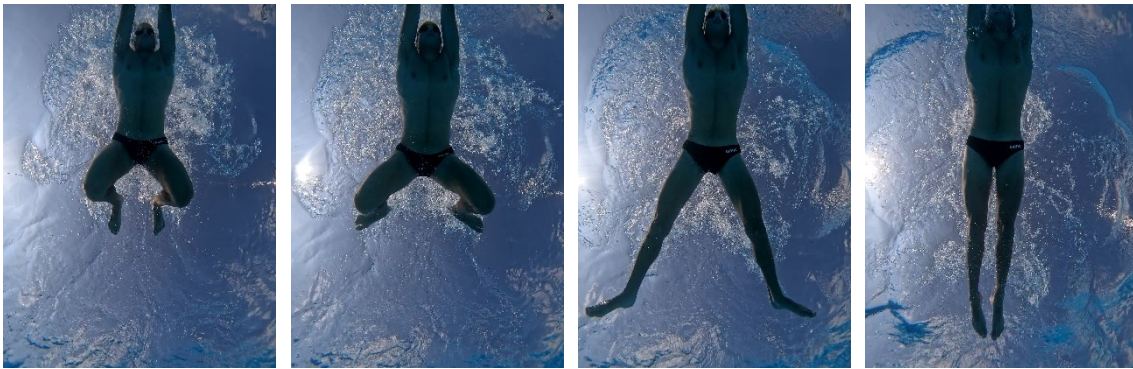
- *recovery part one*: dopo il glide, nella prima parte del recupero nella gambata, avvengono tre flessioni nelle altrettante articolazioni coinvolte, ovvero anca, ginocchio e caviglia. In questo modo i piedi vengono riportati lungo la linea mediale del corpo presso il bacino
- *recovery part two*: in quest'ultima fase la ginocchia flesse si separano leggermente grazie ad una leggera abduzione di coscia, mentre i piedi sono in massima flessione dorsale in leggera extra rotazione
- *leg propulsion*: inizia con il primo movimento verso dietro da parte del piede e si conclude con la gamba in completa estensione, mentre il piede spinge in flessione dorsale
- *leg insweep*: dal momento in cui la gamba è in completa estensione fino a quando entrambe le gambe si congiungono, completando la flessione plantare del *kick*
- *leg glide*: lo scivolamento è la fase in cui le gambe sono entrambe completamente estese e congiunte medialmente

Come per la bracciata, Troup (1999) suddivide la gambata in tre parti:

- *recovery*: il piede si avvicina al corpo più medialmente possibile mentre il ginocchio e l'anca vengono flessi
- *outward sweep*: una volta concluso il recupero delle gambe avviene l'extra rotazione del piede, fondamentale per aumentare la superficie di spinta e massimizzare così la propulsione. Il piede inizia così a spingere verso esterno (*outward*), basso e dietro, con un'ampiezza superiore alla larghezza del bacino

- *inward sweep*: inizia nel punto di massima larghezza del *kick*, e l'azione continua verso il basso, dietro e ora interno (*inward*). Finisce quando i piedi tornano vicini presso la linea mediale del corpo e le gambe sono completamente estese

Nello stile della rana, la gambata (*kick*) è la componente che nell'intero ciclo produce il più grande aumento di velocità (Martens e Daly, 2012). In primo luogo, nel momento che Seifert e Chollet (2005) definiscono propulsivo, avviene l'estensione della gamba con il piede in pronazione che garantisce un maggiore aumento di velocità (Martens e Daly, 2012). Successivamente, il *leg insweep* (Seifert e Chollet, 2005) con l'adduzione della gamba estesa e la supinazione del piede è responsabile di un aumento di velocità, anche se in quantità minore rispetto alla fase propulsiva (Martens e Daly, 2012).



La divisione della gambata secondo Seifert e Chollet (2005), nell'ordine: *recovery part one*, *recovery part two*, *leg propulsion*, e *leg insweep*. Il *leg glide* è lo scivolamento successivo alla posizione di *streamline* ottenuta con il *leg insweep*.

2.3 La subacquea

La subacquea è la fase successiva al tuffo o alla virata, in cui in corpo del nuotatore è completamente immerso in acqua. Mentre negli altri tre stili competitivi la parte subacquea è caratterizzata da gambate a delfino prona (crawl e delfino) o supina (dorso), la rana è l'unico stile in cui durante la subacquea è permesso un'azione di spinta da parte delle braccia. Dal cambio di regolamento del 2005, è inoltre possibile effettuare una sola gambata a delfino durante la fase subacquea a rana (FINA, 2005), la quale può essere svolta in qualsiasi momento precedente alla prima bracciata fuori dall'acqua (FINA, 2017).

La fase subacquea viene analizzata nelle sue componenti da Olstad, Gonjo, Conceição et al. (2022) ed è distinta nell'azione delle braccia e delle gambe.

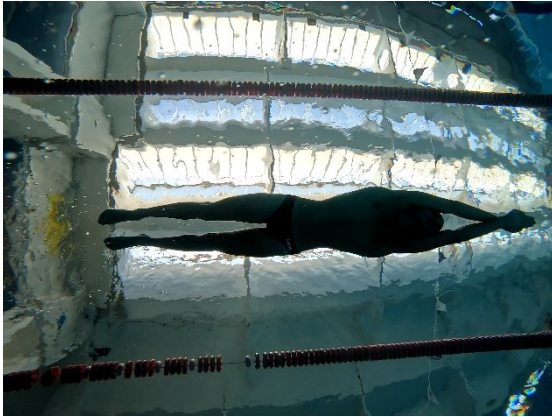
L'azione delle braccia nella subacquea a rana segue uno schema ben preciso. Dopo l'entrata in acqua il soggetto sfrutta l'inerzia generata dal tuffo con uno scivolamento in posizione di *streamline*, l'assetto che permette al corpo di ottenere la posizione più idrodinamica possibile (Vilas-Boas, Costa, Fernandes et al., 2010). Quando il corpo inizia a perdere velocità, avviene una trazione delle braccia grazie ad un momento di presa e uno di spinta: in questo modo il nuotatore si trova in un assetto transitorio, in cui sfrutterà nuovamente lo scivolamento creato questa volta non dal tuffo, ma dalla trazione delle braccia. Infine, avviene il recupero delle braccia sotto il petto, per ridurre al minimo le resistenze dovute dal movimento degli arti superiori verso avanti (Olstad, Gonjo, Conceição et al., 2022).

Le azioni delle gambe nella subacquea sono sostanzialmente due: il calcio a delfino e la gambata a rana. Nel primo movimento, la posizione di scivolamento viene interrotta dall'inizio del *kick* a delfino, ovvero con la flessione del ginocchio e lo spostamento dei piedi verso l'alto. Questa prima gambata termina con l'estensione del ginocchio e i piedi che raggiungono il punto basso, accompagnati dalla leggera flessione d'anca che completa l'andamento ondulatorio. Successivamente il nuotatore procede con una gambata completa a rana, provvista di recupero, *outsweep* e *insweep* come descritto da Troup (1999) (Olstad, Gonjo, Conceição et al., 2022).

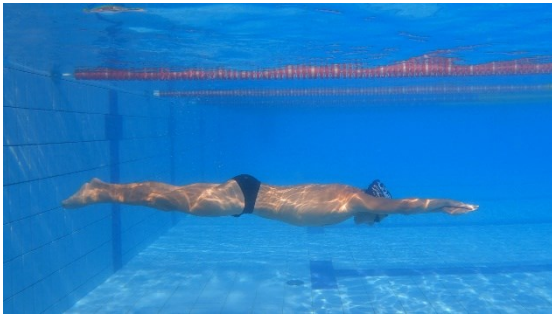
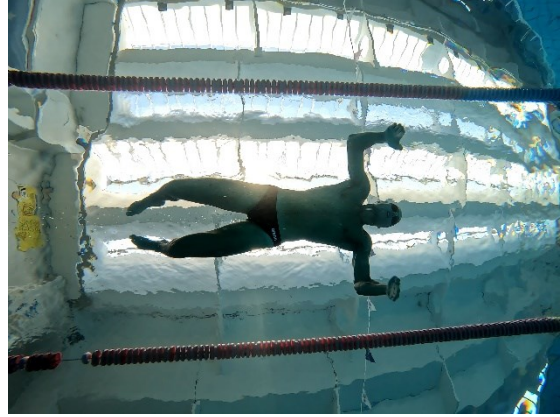
Vista l'azione di entrambi i distretti corporei e la libertà lasciata dal regolamento una domanda sorge spontanea: quando è meglio effettuare il *kick* a delfino? Secondo uno studio di Hayashi, Homma e Luo (2015) è preferibile svolgere la gambata a delfino 0,4 secondi prima dell'azione delle braccia. Se si vuole ottenere una velocità maggiore sotto acqua, così come fuori dalla superficie, è necessario ridurre il più possibile le resistenze imposte dal fluido. Inoltre, il timing della gambata a delfino influenza la postura del corpo nel secondo scivolamento, quello che precede il recupero delle braccia (Hayashi, Homma, Luo, 2015). Alla luce di questi dati, è deducibile il fatto che eseguire il *kick* a delfino prima dell'azione delle braccia consente di trovare una posizione di assetto più idrodinamica, che causa meno resistenze e che ottimizza la subacquea a rana.

Nonostante queste evidenze scientifiche, la subacquea rimane una fase modulabile a seconda delle esigenze che un atleta può avere. Nel 2022 si è notato come ci sia una significativa differenza nelle tempistiche del *gliding* in subacquea. Nelle gare 50m e 100m, dunque le più corte e veloci, il tempo impiegato nelle varie fasi di scivolamento è ridotto rispetto alla gara dei 200m (Olstad, Gonjo, Conceição et al., 2022). Spesso nelle gare più brevi avviene il fenomeno dell'*overlapping*, ovvero la sovrapposizione di varie azioni distinte, con l'obiettivo di limitare al minimo indispensabile lo scivolamento. Nelle fasi di *glide* si sfrutta prima l'inerzia generata dal tuffo e poi la propulsione generata dall'azione delle gambe e delle braccia; se lo scivolamento avviene con un assetto non corretto o perdura nel tempo, il corpo riduce di velocità, compromettendo l'efficacia della subacquea (Hayashi, Homma, Luo, 2015).

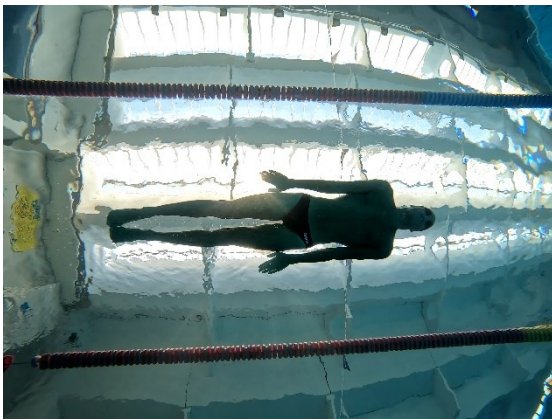
1.



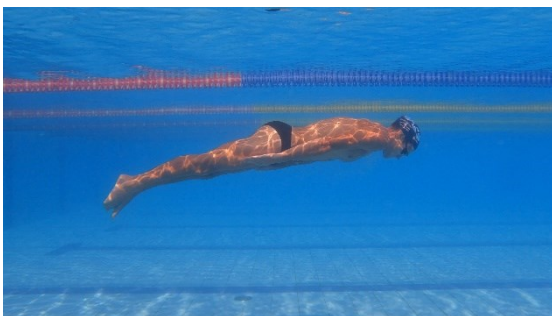
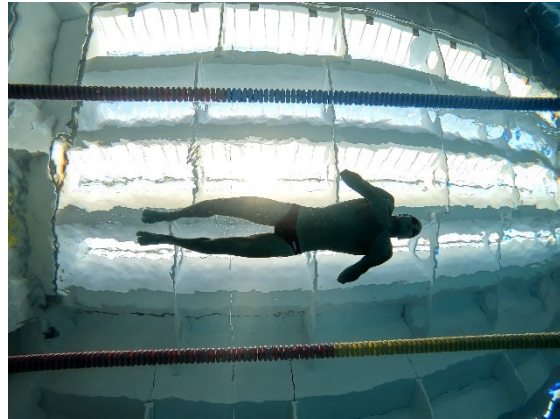
2.



3.



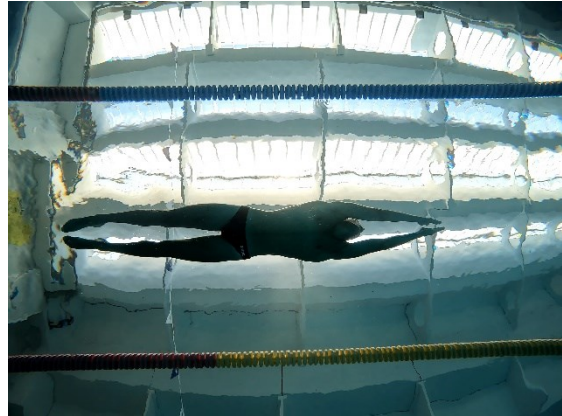
4.



5.



6.



Le sei fasi della subacquea completa con la visione subacquee inferiore e la sua corrispettiva laterale:

1. posizione di *streamline* subacquea per limitare le resistenze
2. inizio del *kick* a delfino e della trazione delle braccia
3. posizione di *glide* dopo la trazione delle braccia e gambata a delfino
4. recupero delle braccia sotto il petto e raccolta delle gambe a rana
5. recupero degli arti superiori completato e fase propulsiva delle gambe
6. posizione finale di *streamline* per l'uscita dall'acqua

CAPITOLO 3

I PARAMETRI SPAZIO-TEMPORALI

Nel capitolo che segue, verranno messi in risalto i dati che possono essere raccolti in campo gara per dare una valutazione alla performance dell'atleta. L'aumento della frequenza di bracciata porta sempre ad un aumento di velocità? Da cosa dipende la velocità nella rana? Come si può migliorare la performance in generale? Questi sono alcuni quesiti che mi sono posto e a cui ho provato a trovare una risposta analizzando i vari fattori cinematici della nuotata a rana.

3.1 Stroke rate e stroke length

I due parametri spazio-temporali più rilevanti nell'ambito natatorio sono lo *stroke rate* (SR) e la *stroke length* (SL). Il primo dato, misurato in cicli*min⁻¹, descrive quantitativamente il ritmo medio sostenuto dal soggetto, mentre il secondo è la distanza in metri [m] che viene ricoperta durante un ciclo completo a rana (Strzała, Krezalek, Głab et al., 2013).

Lo SR è un parametro misurabile direttamente anche in campo gara, attraverso la frequenza di bracciata f . Dalla mia esperienza nell'ambito natatorio, la frequenza si cronometra ogni sei bracciate, quindi tre cicli completi di un braccio singolo, negli stili alternati (crawl e dorso) e ogni tre cicli in quelli simultanei (delfino e rana), per avere un'indicazione istantanea nel ritmo di nuotata sostenuto dall'atleta nelle varie fasi di gara. Da questo valore f si ricava il tempo impiegato per effettuare un solo ciclo T .

$$T = \frac{f}{3}$$

Secondo Fritzdorf, Hibbs e Kleshnev (2009), la velocità di locomozione V , lo stroke rate SR, la stroke length SL e la durata di un ciclo T stanno in relazione tipo:

$$V = \frac{SL}{T}$$

$$V = SL \frac{SR}{60}$$

Da queste equazioni si può ricavare:

$$SR = \frac{60}{T}$$

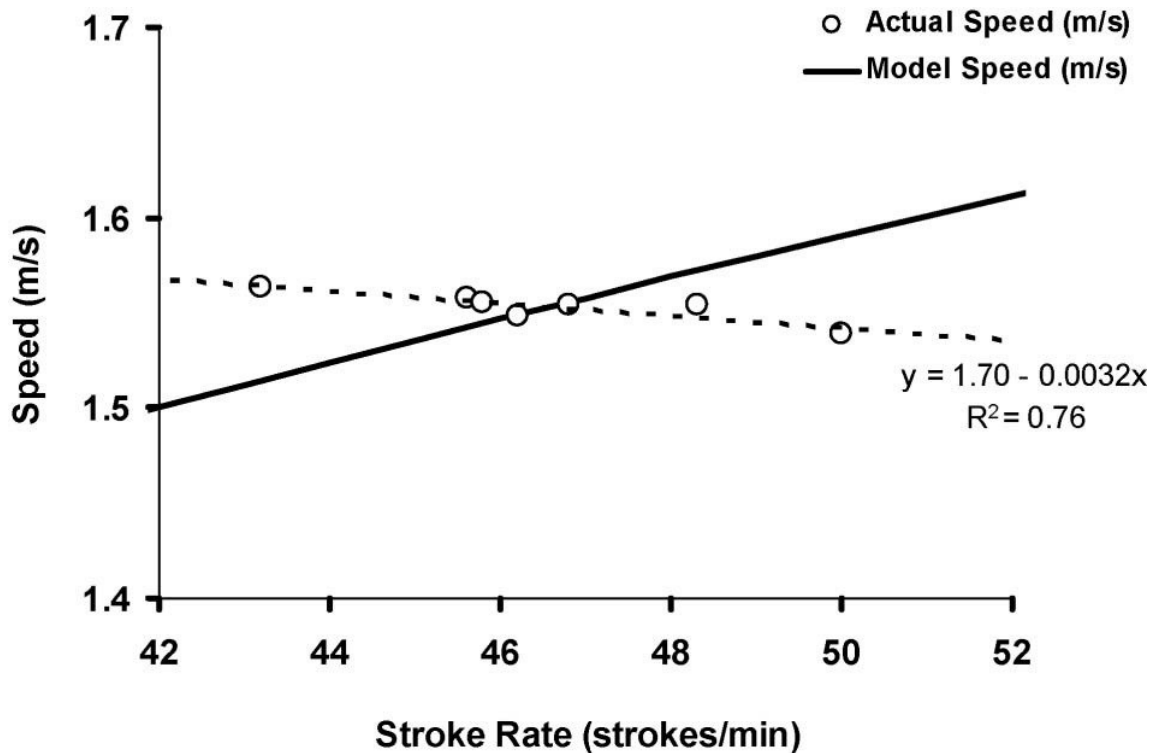
e quindi:

$$SR = \frac{180}{f}$$

Un altro aspetto che si può dedurre da questi studi è la proporzionalità inversa che lega SR e SL; quindi, all'aumentare di un valore l'altro diminuisce di conseguenza (Barbosa et al., 2011). Un buon rapporto tra i due parametri permette di modulare la velocità in base alla distanza da ricoprire in gara.

L'aumento di velocità è correlato ad un aumento delle fasi propulsive e dello SR, a scapito della SL e dello scivolamento che vengono accorciati. In questo modo, a confronto con nuotatori non professionisti, gli atleti d'élite hanno fasi di scivolamento minori, ma riescono a coprire una distanza maggiore con un ciclo (Leblanc, Seifert, Baudry, Chollet, 2005). A sorreggere questa tesi, contribuisce lo studio del 2017 il quale afferma che l'aumento di SR e fase propulsiva della bracciata sono due fattori altamente correlati al miglioramento della performance (Strzała, Stanula, Ostrowski et al., 2017).

Non bisogna però cadere nell'illusione che un aumento di SR porti necessariamente ad un aumento di velocità. È stata individuata una correlazione negativa tra la velocità e lo SR nell'analisi della gara 100m rana in palcoscenici internazionali (Fritzdorf, Hibbs, Kleshnev, 2009). I dati sono stati confrontati con un modello che stimava dei risultati attesi, che però non si sono verificati; si è messo in luce che la diminuzione dell'efficacia coincide con la diminuzione della velocità e l'aumento dello stroke rate.



Fonte: Fritzdorf, Hibbs, Kleshnev (2009) “Analysis of speed, stroke rate, and stroke distance for world-class breaststroke swimming”

È da notare che il calo di efficacia corrisponde all'affaticamento dell'atleta, che progressivamente aumenta con il tempo. Se si divide la gara 100m in quattro settori, si nota una diminuzione costante dell'eWPS (*effective work per stroke*), ovvero l'efficacia del lavoro effettuato ad ogni ciclo (Fritzdorf, Hibbs, Kleshnev, 2009). Questo giustifica lo strano rapporto tra la velocità e lo SR messo in risalto in precedenza, poiché bisogna considerare l'impegno fisico massimale che l'atleta sostiene.

La velocità di nuotata reale a rana, ovvero non influenzata da partenza dal blocco o spinte dal muro, è il prodotto di *cycle length* e *cycle rate*, secondo quanto riferito da Olstad, Wathne e Gonjo (2020). Contro le aspettative, nello studio portato avanti dai tre ricercatori entrambi i parametri, che corrispondono rispettivamente a SL e SR, non sono significativamente correlati al tempo di nuotata reale: ciò indica che per nuotare più veloce non è sufficiente aumentare la frequenza o lo scivolamento durante il ciclo completo, ma ogni nuotatore ha la sua personale strategia per mantenere la velocità di nuotata alta.

3.2 La velocità

Un altro parametro misurabile e correlato direttamente alla performance e all'efficacia nella nuotata a rana è la velocità, definita come $V_{50_{\text{surface breast}}}$: Barbosa et al. (2011) la indicano come la migliore variabile per valutare la performance della nuotata. In generale, la velocità è definita come lo spazio percorso in un determinato lasso di tempo, misurato in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$:

$$v = \frac{S}{t}$$

In particolare, nel mondo del nuoto la velocità è messa in relazione al gesto atletico proposto, quindi viene considerato il ciclo di nuotata e due parametri ad esso associati, ovvero la lunghezza percorsa (SL) e il tempo impiegato (T) per eseguire un ciclo completo:

$$V = \frac{SL}{T}$$

La velocità è dunque necessaria quando si parla di performance, infatti l'obiettivo dell'atleta è ricoprire la distanza di gara nel minor tempo possibile. Per questo è utile studiare la sua correlazione con i parametri spazio-temporali che caratterizzano il ciclo della rana.

Prendendo in considerazione lo stroke rate, si è notato che ha un indice di relazione con $V_{50_{\text{surface breast}}}$ nella media, ma è trascurabile poiché si verifica solamente nelle parti propulsive della bracciata, quindi non tiene in considerazione anche le fasi di recupero non propulsive (Strzała, Krezalek, Głab et al., 2013).

Si è notato invece che la velocità è considerevolmente correlata al tempo di esecuzione della fase di *insweep* nella bracciata. Ciò suggerisce come sia sensato minimizzare la parte non propulsiva della bracciata, d'altronde conviene avere un maggior contributo nella fase finale della bracciata e nel momento di recupero delle braccia parzialmente immerso (Strzała, Krezalek, Głab et al., 2013), tesi confermata da un altro studio di analisi cinematica più recente (Gourgoulis et al., 2018). Il fenomeno dell'*overlapping* si verifica quando si genera una sovrapposizione di due momenti che in situazioni standard sarebbero in serie uno dietro l'altro. Nel caso del ciclo a rana, può esistere una

sovrapposizione delle fasi propulsive sia tra gli arti inferiori che tra i superiori. Uno studio preso in considerazione mette in luce come *l'overlap* delle fasi propulsive coinvolgenti gli arti superiori, aiuta la propulsione anche degli arti inferiori. Il parametro che quantifica la spinta delle gambe è l'accelerazione ventrale sagittale influenza in maniera positiva la $V_{50_{\text{surface breast}}}$, quindi la velocità personale del canoista (Strzała, Stanula, Ostrowski et al., 2017).

3.3 L'andamento del centro di massa

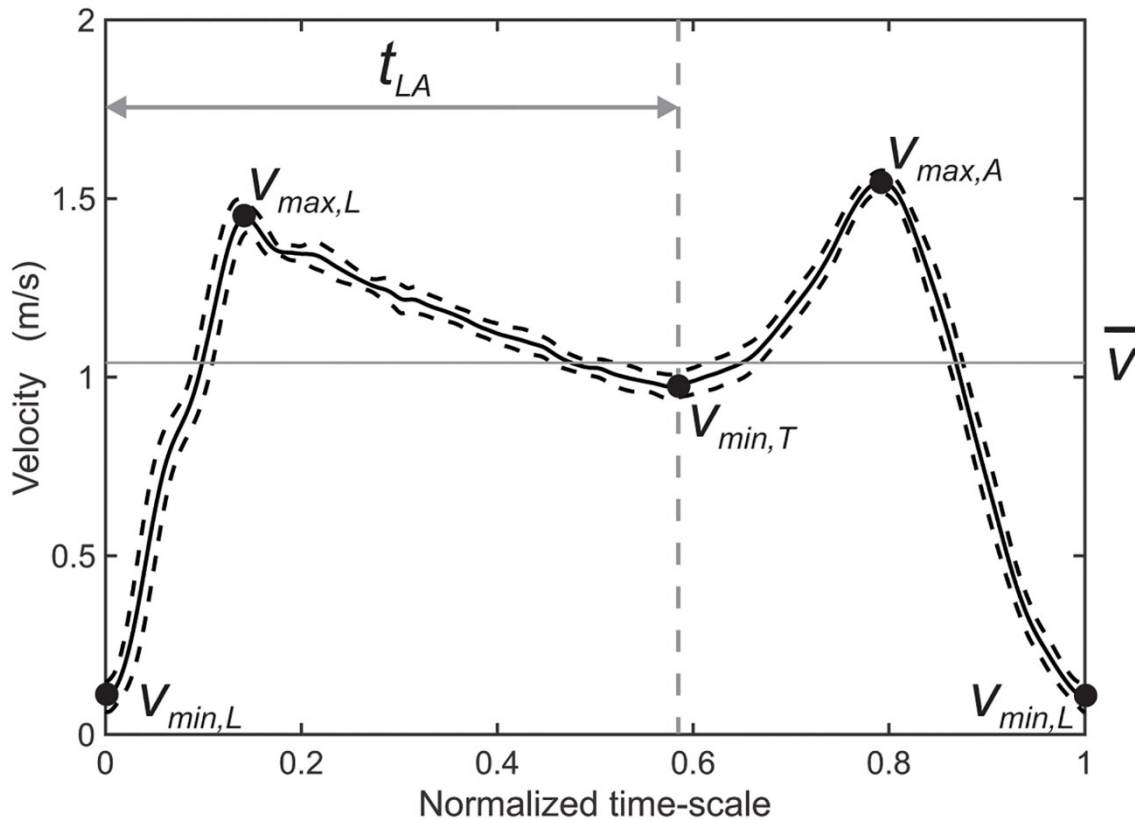
Per quanto riguarda il nuoto, lo studio del centro di massa è necessario per elaborare informazioni da utilizzare nella ricerca della massima efficienza di nuotata e capire come si comporta il corpo in situazione dinamica. L'andamento del COM (*center of mass*) è esplorabile con due modalità diverse:

- 1- variazioni in altezza: studio dell'andamento del COM nella sua componente verticale, quindi i cambiamenti nel galleggiamento
- 2- variazioni in velocità: studio dell'andamento del COM nella sua componente orizzontale, quindi le accelerazioni e decelerazioni del corpo

È ben noto che una posizione orizzontale del corpo garantisce un buon galleggiamento e, in particolare, la posizione di *streamline* permette di ottenere la posizione più idrodinamica possibile (Vilas-Boas, Costa, Fernandes et al. 2010). Durante l'esecuzione delle nuotate, il corpo si muove nell'acqua generando dei cambiamenti di postura e quindi di equilibrio. Inoltre, la rana e il delfino sono gli stili che hanno maggiori variazioni del COM, del centro e delle forze di galleggiamento a causa del movimento simmetrico di braccia e gambe (Cohen, Cleary, Harrison, et al., 2014); nel crawl e nel dorso invece, il movimento alternato degli arti superiori e inferiori consente un migliore equilibrio, poiché il gesto monolaterale viene compensato dalla parte controlaterale.

Un grande limite nello studio del COM è la sua incongruenza con i risultati della velocità misurata a livello dell'anca (*hip velocity*). Infatti, le fluttuazioni verticali del centro di massa non rispecchiano quelle misurate a livello del bacino, non rendendo attendibili le considerazioni dedotte. Al contrario, se si considerano le componenti orizzontali, l'andamento del COM rispecchia la velocità del bacino, seguendone le fluttuazioni (Gourgoulis, Koulexidis, Gketzenis, Tzouras, 2018). La rana, a causa della sua natura sequenziale imposta dal regolamento (FINA, 2017), ha delle variazioni di velocità significativamente alte rispetto agli altri stili. Dal grafico proposto di seguito, si può notare come sono presenti due picchi di velocità coincidenti con le fasi propulsive di gambe e braccia, rispettivamente $v_{\max,L}$ e $v_{\max,A}$, e due punti di velocità minima che rappresentano il recupero delle gambe e delle braccia $v_{\min,L}$ e $v_{\min,A}$ (Van Houwelingen et

al., 2017). Un'altra osservazione da tenere presente è la vicinanza tra la velocità di nuotata media e la velocità minima verificata durante la bracciata, ovvero nel recupero.



Fonte: Van Houwelingen et al. (2017), “Pacing the phasing of leg and arm movements in breaststroke swimming to minimize intra-cyclic velocity fluctuations”

Queste fluttuazioni di velocità rilevate sull'anca, definite IVV (*intra-cycling velocity variability*) da Van Houwelingen (2017), sono riconducibili a quelle del centro di massa, poiché si riferiscono alle componenti orizzontali e quindi più attendibili (Gourgoulis et al., 2018). Per migliorare la performance è necessario mantenere una velocità media più alta possibile, e questo è possibile rendendo la nuotata efficace “appiattend” la curva delle fluttuazioni (Van Houwelingen et al., 2017).

Il concetto è ribadito ancora nella letteratura scientifica, dove vengono analizzati diversi parametri negli atleti protagonisti dei mondiali di Fukoka nel 2001. In particolare, la *hip velocity* presenta un range di variazioni minore nei soggetti che hanno ottenuto tempi in gara minori (Takagi et al., 2004). Il fattore chiave della nuotata è rappresentato dalle fasi

non propulsive, durante le quali è fondamentale evitare decelerazioni eccessive adottando posture a bassa resistenza idrodinamica; è dunque importante allenare le posizioni durante i recuperi di braccia e gambe per massimizzare l'efficienza di nuotata (Takagi et al., 2004).

Confrontando la IVV del COM sugli assi verticali e orizzontali, si può notare che il range del centro di massa e la performance siano inversamente proporzionali (Cohen, Cleary, Harrison, et al., 2014). Migliorare l'efficienza di nuotata a rana significa adottare delle posture più orizzontali possibili agendo sul consolidamento della tecnica, concedendo meno resistenze verticali nonostante la simmetria caratteristica dello stile. Un centro di massa stabile vicino al pelo dell'acqua è fondamentale per garantire il galleggiamento ottimale, mentre una velocità di bacino poco altalenante consente di avere una velocità media maggiore, quindi ricoprire una certa distanza in meno tempo.

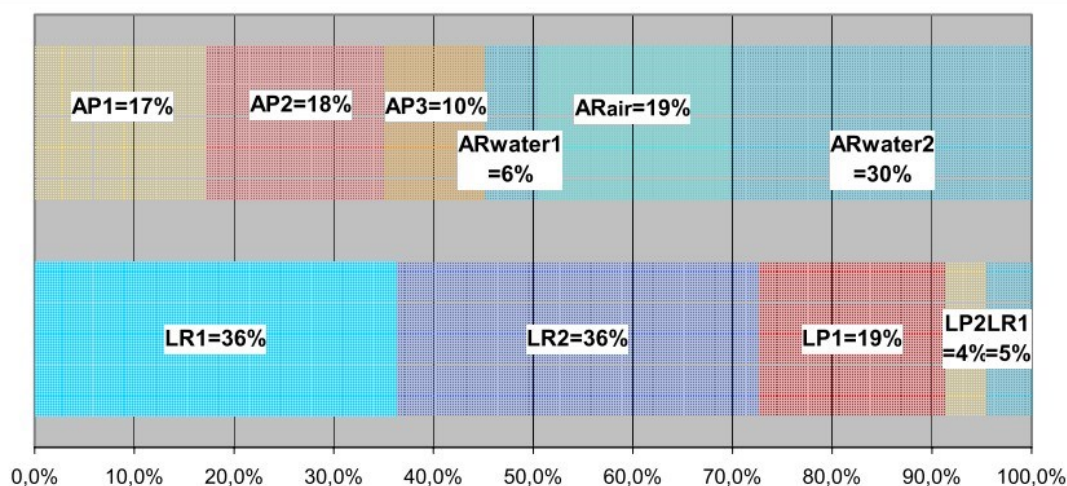
3.4 La coordinazione braccia-gambe

Ciò che contraddistingue un atleta di livello dalla massa è l'abilità di applicare forze propulsive in acqua in maniera efficace (D'Acquisto, Costill, 1998). Come visto nel capitolo precedente, la bracciata e la gambata sono divisibili in fasi propulsive e non, ma la giusta coordinazione tra questi genera la nuotata più efficiente. Individuare il timing adatto tra l'azione degli arti superiori e quelli inferiori garantisce di sfruttare al meglio le fasi propulsive proposte, riducendo al minimo i momenti che generano decelerazioni.

Anche il ciclo completo a rana in sé può essere suddiviso, per andarlo a studiare nelle sue caratteristiche globali. D'Acquisto e Costill (1998) lo separano in due fasi di accelerazione e due fasi, al contrario, di decelerazione. La prima fase di accelerazione coincide con il *kick*, seguita dal primo momento di decelerazione composto del recupero delle braccia e dall'*outsweep* delle mani. Proseguendo nell'azione del ciclo, la seconda fase di accelerazione è individuata nella trazione delle braccia e l'*insweep* delle mani, e si conclude con la conseguente decelerazione dovuta dal recupero delle gambe, dove anca e ginocchio si flettono (D'acquisto, Costill, 1998).

Questa distinzione è supportata dalla visione di Leblanc, Seifert, Baudry e Chollet (2005), nella quale il ciclo completo è distinto in 4 fasi: recupero simultaneo di braccia e gambe, la gambata, lo scivolamento e la bracciata. La propulsione maggiore è data dall'azione delle gambe, seguita dal loro recupero che provoca un calo di velocità; la decelerazione è compensata dalla trazione svolta dalle braccia (Leblanc et al., 2005).

Lo studio di Strzała, Krezalek, Głab et al. (2013) aggiunge una panoramica visiva del timing nel ciclo a rana. Nella linea del tempo è rappresentato lo svolgimento di un ciclo completo dove l'azione delle braccia è descritta nella fascia superiore mentre quella delle gambe in quella inferiore.



Fonte: Strzała, Krezalek, Glab, et al. (2013), “Intra-cyclic phases of arm-leg movement and index of coordination in relation to sprint breaststroke swimming in young swimmers”

Per quanto riguarda gli arti superiori:

AP1 = *arm propulsion 1*, prima fase di propulsione delle braccia

AP2 = *arm propulsion 2*, seconda fase di propulsione delle braccia

AP3 = *arm propulsion 3*, terza fase di propulsione delle braccia

ARwater1 = *arm recovery water 1*, prima fase di recupero delle braccia immerse

ARair = *arm recovery air*, fase di recupero delle braccia emerse

ARwater2 = *arm recovery water 2*, seconda fase di recupero delle braccia immerse

Per quanto riguarda gli arti inferiori:

LR1 = *leg recovery 1*, prima fase di recupero delle gambe

LR2 = *leg recovery 2*, seconda fase di recupero delle gambe

LP1 = *leg propulsion 1*, prima fase di spinta delle gambe

LP2 = *leg propulsion 2*, seconda fase di spinta delle gambe

Da come si può vedere, a momenti di propulsione delle braccia corrispondono momenti di recupero delle gambe, e viceversa. Esiste però un buco temporale tra le fasi di

propulsione di braccia e gambe, che gli autori descrivono con il nome di *arm-leg lag*. Questo periodo che in media rappresenta quasi il 30% dell'intero ciclo, è individuato come un fattore di discontinuità nell'azione a rana (Strzała et al., 2013). Secondo Leblanc, Seifert, Baudry e Chollet (2005), gli atleti di livello riescono a garantire una continuità nell'azione alternata di braccia e gambe producendo meno *arm-leg lag*, ottimizzando il timing di esecuzione; così facendo, cercano una continua propulsione minimizzando i tempi dove la propulsione non è presente.

A questo punto il fenomeno dell'*overlap*, ovvero la sovrapposizione dei momenti propulsivi dati dall'azione degli arti superiori e inferiori, risulta come la soluzione al problema dell'*arm-leg lag*, in quanto elimina o comunque riduce al minimo la fase dove non si verificano spinte. A supportare questa visione, è stata dimostrata una correlazione positiva tra l'*overlap* e la $V_{50_{\text{surface breast}}}$, perciò la sovrapposizione nella coordinazione tra braccia e gambe aiuta ad aumentare la velocità in output (Strzała, 2013). Inoltre, una migliore posizione di *streamline* combinata ad una sovrapposizione tra il completamento della gambata e l'inizio della presa nella bracciata riduce il calo di velocità lineare, garantendo così una velocità media superiore e quindi migliore prestazione (D'Acquisto, Costill, 1998).

Un altro aspetto interessante riguardo alla coordinazione tra braccia e gambe nella rana riguarda la loro modulazione. La *arm-leg coordination* cambia a seconda di diversi fattori: la distanza da percorrere, la tecnica d'esecuzione, il livello del nuotatore (Leblanc et al., 2005). È stato notato com'è possibile regolare e migliorare la coordinazione nella rana grazie all'utilizzo di un metronomo: nell'esperimento svolto, il nuotatore doveva seguire un ritmo scandito da un apparecchio acustico (Van Houwelingen et al., 2017).

CAPITOLO 4

L'EFFICIENZA DELLA NUOTATA

Nuotare è un'attività a basso rendimento energetico: un atleta si distingue da un nuotatore intermedio per la sua capacità di convertire maggiore energia nell'avanzamento piuttosto che in calore o altre modalità di dissipazione. In questo capitolo cercherò di capire perché la rana è considerato lo stile con più dispendio energetico e a quali forze deve far fronte il nuotatore nella sua azione.

4.1 Il costo energetico

Il costo energetico per una data attività fisica è il rapporto tra la potenza metabolica e la velocità. La potenza metabolica è il dispendio energetico per unità di tempo e la velocità è utilizzata al denominatore per mettere in relazione il costo alla specifica attività svolta (Di Prampero, 1986):

$$CE = \frac{\dot{E}}{v}$$

Il consumo energetico è utile per capire il fabbisogno calorico di cui il soggetto necessita. L'efficienza è un concetto di cui bisogna tenere presente, poiché è la percentuale di energia spesa che viene effettivamente trasformata in lavoro meccanico esterno (Capelli et al., 1998). In questo caso la tecnica gioca un ruolo importante, infatti a parità di velocità un nuotatore non esperto ha un costo energetico maggiore di un atleta di livello (Holmer, 1974). Ottimizzare la tecnica di nuotata è fondamentale per avere un costo energetico minore, quindi riuscire a sostenere alte velocità per più tempo e di conseguenza migliorare la performance.

Per correlare il costo energetico al nuoto si utilizza il $VO_{2\max}$, ovvero il massimo consumo di ossigeno: questo valore indica il volume massimo di ossigeno consumato nell'unità di tempo, in risposta ad una richiesta energetica maggiore. Il $VO_{2\max}$ è definito come la massima potenza aerobica, quindi ricavando l'ATP da reazioni che necessitano ossigeno. In questo modo, il massimo consumo di ossigeno rappresenta la massima potenza

metabolica in regime aerobico, senza ricorrere alla glicolisi anaerobica o al sistema della fosfocreatina.

Il costo energetico nel nuoto varia secondo diversi fattori:

- stile considerato
- velocità di andatura
- distanza percorsa
- livello del nuotatore

A parità di velocità, la rana ha la più bassa percentuale di energia ricavata da fonti aerobiche (Capelli et al., 1998); data una velocità, dunque, questo stile ha bisogno di una percentuale maggiore di fonti energetiche anaerobiche sia lattacide che alattacide, quindi necessita di uno sforzo maggiore per sostenere il ritmo imposto.

Considerando invece una distanza fissa, in questo caso 200m, il massimo consumo di ossigeno maggiore è stato rilevato nel delfino, seguito poi da rana, dorso e infine crawl (Holmer, 1974). In questo caso, è possibile notare che valori di VO₂ relativi a delfino a rana siano discretamente maggiori rispetto a dorso e stile: anche in questo caso si denota una differenza tra gli stili a nuotata simmetrica e asimmetrica. Nel capitolo precedente, si era evidenziato come la rana e il delfino presentavano un ampie variazioni del COM e del centro di galleggiamento (Cohen, Cleary, Harrison, et al., 2014). Si può dedurre che questi due stili richiedano uno sforzo particolare dovuto dalla loro natura e da ciò che il regolamento impone: le nuotate sono più dispendiose e il loro svolgimento è dettato da una maggiore difficoltà nel mantenere il galleggiamento.

Il consumo energetico della rana dipende anche dal livello del nuotatore che la esegue. A rigor di logica, il nuotatore esperto riesce a limitare il costo della nuotata grazie ad una tecnica più efficiente, che gli consente di mantenere velocità superiori e di conseguenza ricoprire una distanza più lunga. Nello studio di Capelli, Pendergast e Termin (1998) si studia l'utilizzo di energia nel nuoto alla massima velocità: i dati distinguono un diverso VO_{2max} tra gli atleti d'élite e i nuotatori di medio livello. I risultati si possono così riassumere:

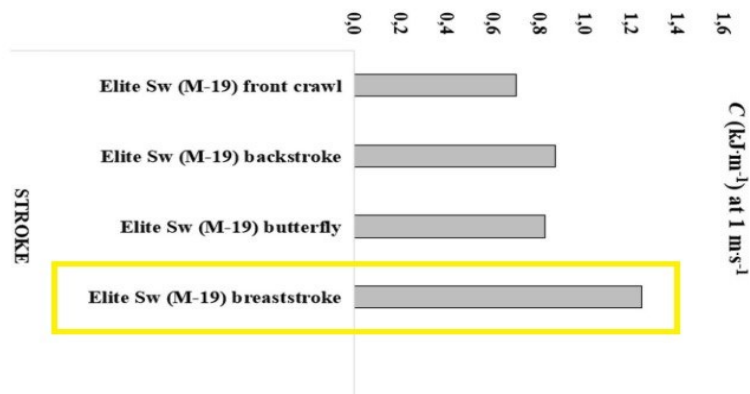
nuotatori esperti:

$$VO_{2\max} \text{ rana} > VO_{2\max} \text{ delfino} > VO_{2\max} \text{ dorso} > VO_{2\max} \text{ crawl}$$

nuotatori dei medio livello:

$$VO_{2\max} \text{ delfino} > VO_{2\max} \text{ rana} > VO_{2\max} \text{ dorso} > VO_{2\max} \text{ crawl}$$

Una ulteriore conferma della tesi iniziale arriva dai recenti studi di Zamparo, Cortesi e Gatta (2020), dove la rana è definita come “*most demanding stroke*”, ovvero lo stile più esigente a livello energetico avendo il costo energetico maggiore a velocità data e sforzo sub-massimale. L’immagine sottostante evidenzia graficamente come il consumo energetico della rana sia abbondantemente più alto degli altri stili, in una popolazione di nuotatori agonisti giovani a velocità imposta ($v = 1 \text{ m/s}$).



Fonte: Zamparo et al. (2020) , “The energy cost of swimming and its determinants”

4.2 La resistenza all'avanzamento

Il nuotatore deve sapersi muovere e creare propulsione dentro un fluido dove la densità è notevolmente maggiore a quella dell'aria (1205 Kg/m^3 contro 998.2 Kg/m^3) e la resistenza all'avanzamento è circa 800 volte superiore. Il *drag* è uno dei due fattori, assieme all'efficienza di nuotata, che determina il costo energetico: il *drag* e il costo energetico sono direttamente proporzionali, perciò se aumentano le forze di resistenza, l'atleta deve far fronte ad una spesa energetica maggiore (Zamparo et al., 2020).

La capacità di assumere posizioni idrodinamiche può dunque rilevarsi fondamentale se si vuole rendere la propria nuotata efficace. Uno studio di Touretski, svolto su 400 nuotatori, dimostra come gli atleti di alto livello abbiano grandi performance in modo inversamente proporzionale alla loro resistenza all'acqua, piuttosto che in modo direttamente proporzionale alla loro espressione di forza. Questa evidenza prova il ruolo importante delle posture degli studi sul galleggiamento in acqua, necessari per ottimizzare le performance degli atleti, come la tecnica di un nuotatore non esperto.

La risultante delle forze di resistenza in acqua ha tre componenti principali (Troup, 1999):

- *form drag* (resistenza di pressione): dipende dalla posizione che il corpo assume in acqua, perciò più il corpo è orizzontale, meno *form drag* sarà presente; questa resistenza è inoltre più elevata sulla superficie dell'acqua rispetto alla profondità.
- *wave drag* (resistenza d'onda): causata dalle turbolenze che si verificano sulla superficie, create dal movimento del corpo nel liquido; le turbolenze rimbalzano ai lati e sui bordi della piscina, per questo in quelle più fonde si percepisce meno resistenza.
- *frictional drag* (resistenza di frizione): dovuta del contatto della pelle e dei peli con la superficie acquatica; spiega perché i nuotatori d'élite effettuano una depilazione completa a ridosso di gare importanti, anche se questa resistenza è meno significativa delle altre due.

Calcolare la resistenza all'avanzamento nelle discipline natatorie non è facile, infatti nella letteratura scientifica sono presenti stime del *drag* complessivo per ogni stile (Kolmogorov, Duplishcheva, 1992; Xin-Feng et al., 2007).

Una prima stima è stata svolta nuotando una certa distanza con un output di potenza uguale per tutti gli stili (Kolmogorov, Duplishcheva, 1992): come previsto, le velocità massime differivano a seconda dello stile, e con loro anche la valutazione del *drag*. I valori misurati nei nuotatori sono riportati nella tabella seguente:

| Stroke | Crawl | Butterfly | Breaststroke | Backstroke |
|----------------------|--------------|------------------|---------------------|-------------------|
| AD male [N] | 167-42 | 156-46 | 176-55 | 146-46 |
| AD female [N] | 69-31 | 83-37 | 93-45 | 65-37 |

Fonte: Kolmogorov, Duplishcheva (1992) “Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity”

L'*active drag* (AD) è la resistenza all'avanzamento dinamica, quindi con il corpo in movimento. È una forza espressa in Newton e il range proposto indica la media della resistenza massima e della minima. La lettura di questi dati suggerisce che lo stile che genera più resistenza attiva complessiva sia appunto la rana, mentre quello più efficiente sia il dorso.

Uno studio cinese ha utilizzato un nuovo dispositivo per stimare il *drag* generato nelle nuotate a crawl e rana. Anche in questo caso l'output di potenza era fissato e la velocità massima raggiunta nella rana era chiaramente minore. È stato perciò dedotto che l'efficienza propulsiva nel crawl è nettamente maggiore, quindi nuotare a rana genera più *drag* e molta energia venga dissipata nei movimenti verticali del COM (Xin-Feng, 2007).

Per quanto riguarda questo argomento, le evidenze scientifiche sono ancora poche e si trattano principalmente di stime. Da quanto visto però, ancora una volta la rana sembra lo stile che genera più forze che si oppongono all'avanzamento: si potrebbe così spiegare la bassa efficienza e il conseguente alto consumo energetico.

4.4 L'azione muscolare

Nei luoghi comuni popolari, il nuoto viene definito come uno sport "completo", ma questo cosa significa? Effettivamente in questa attività fisica si possono allenare tutti i regimi metabolici grazie alla modulazione dell'intensità e della durata dell'allenamento. Inoltre, vengono coinvolti diversi distretti muscolari durante l'esecuzione di tutti gli stili, quindi la "completezza" potrebbe derivare da queste considerazioni. La rana è uno stile completo? Durante l'azione a rana, vengono ovviamente coinvolti sia la parte inferiore che la parte superiore del corpo, senza dimenticare del tronco e del ruolo importante ricoperto dal core.

Per quanto riguarda la bracciata, è chiaramente svolta dagli arti superiori, con la sinergia dei muscoli anteriori e posteriori del tronco. Deltoide posteriore, sottospinato e piccolo rotondo sono responsabili della prima fase della bracciata, ovvero l'*outsweep*, mentre i flessori del polso effettuano un lavoro isometrico per garantire la presa delle mani in acqua (Troup, 1999). Durante la fase di trazione a gomito semi flesso, il gran pettorale e il gran dorsale sono attivati maggiormente (Nuber et al., 1986; Troup, 1999) e sono quindi i protagonisti nella fase propulsiva della bracciata (Olstad, Zinner, Vaz et al., 2017). La fase di *insweep* vede la partecipazione sinergica di molti gruppi muscolari durante tutto il movimento: bicipite brachiale e coracobrachiale permettono la massima flessione del gomito mentre deltoide anteriore e gran pettorale iniziano l'adduzione dell'omero sul piano frontale (Troup, 1999). La supinazione dell'omero continua fino all'inizio del recupero, dove l'omero viene flesso sotto il petto grazie ancora al deltoide anteriore, gran pettorale e capo lungo del bicipite. Il momento del recupero avviene con l'estensione del gomito ad opera del tricipite e si conclude con la pronazione dell'omero (Troup, 1999). Il piccolo rotondo e il dentato anteriore mantengono un'attivazione costante durante tutto il ciclo della bracciata (Ruwe et al., 1994).

L'azione della gambata è caratterizzata dalla flessione-estensione delle tre principali articolazioni degli arti inferiori: anca, ginocchio e caviglia. Il recupero è svolto dai flessori dell'anca e del ginocchio: i primi sono ileopsoas e retto femorale mentre i secondi sono bicipite femorale, semitendinoso, semimembranoso, gastrocnemio, sartorio e gracile (Troup, 1999). Dopo il periodo di massima flessione del ginocchio, si cerca di ottimizzare la posizione del piede per effettuare la parte propulsiva del *kick*, quindi i muscoli peronei

consentono la pronazione e la dorsi-flessione del piede assieme al tibiale anteriore; il muscolo tensore della fascia lata e le fibre anteriori di medio e piccolo gluteo sono invece responsabili del posizionamento della coscia in leggera abduzione, pronta per spigionare la potenza necessaria (Troup, 1999). Gli estensori di anca e ginocchio sono responsabili della principale fase propulsiva della gambata a rana, l'*outward sweep*. *Hamstrings* e quadricipite svolgono la duplice estensione, mentre l'estensione della caviglia avviene nella fase finale della gambata (Troup, 1999). Nell'*inward sweep* si raggiunge l'estensione completa degli arti inferiori e la congiunzione dei piedi: l'adduzione del femore è possibile grazie ai muscoli adduttori (grande, lungo e breve, pettineo e gracile) e la sinergia del grande gluteo, sartorio e fasci posteriori di medio e piccolo gluteo. La posizione finale di assetto idrodinamico è raggiunta dopo la flessione plantare del piede, svolta da soleo, gastrocnemio, tibiale posteriore e muscoli peronei (Troup, 1999).

Questa descrizione elettromiografica dell'azione muscolare nel ciclo della rana può essere utile per avere una visione dettagliata dei principali distretti muscolari coinvolti. In questo modo, si può agire per migliorare la performance di un atleta di alto livello, come per potenziare un "anello debole" che limita l'esecuzione corretta della tecnica in un principiante. In questo discorso sono state solo accennate le catene muscolari, ovvero gruppi muscolari che agiscono sinergicamente per svolgere un'azione. Lo sviluppo delle catene crociate anteriori e posteriori, di quelle flessorie ed estensorie può essere utile nell'ambito della preparazione atletica per il miglioramento della prestazione: un esempio può essere la catena estensoria dell'anca, che nella rana ritornerebbe utile per la fase esplosiva del *kick*.

CAPITOLO 5

L'EVOLUZIONE NEL TEMPO

In questo capitolo si va ad analizzare come i tempi nelle gare a rana sono migliorati con il passare degli anni e quali sono le aspettative per il futuro di questo stile. Come si sta evolvendo la rana? Perché è importante studiarla scientificamente?

5.1 La progressione del record del mondo

La rana ha origini antiche che risalgono ai tempi di Assiri e Babilonesi, ma l'esecuzione ha subito varie modificazioni nel corso dei secoli fino a diventare quella moderna, definita e regolamentata dalla FINA. Nelle competizioni ufficiali, l'inizio della rilevazione di tempi ha significato la distinzione dello stile della rana da quello del delfino: in precedenza il regolamento permetteva nella nuotata l'uscita completa delle braccia e non c'era indifferenza nell'uso di una gambata rispetto ad un'altra.

Data la regolamentazione relativamente recente, la rana è uno stile ancora "giovane", nelle cui gare internazionali non è improbabile vedere stabilito un nuovo record del mondo. Osservando la progressione del WR nei 100m rana in vasca da 50 metri nel tempo, si può notare come in campo femminile l'andamento sia stato sostanzialmente lineare, mentre nell'ambito maschile ci sono stati due momenti in cui il miglior tempo mondiale abbia avuto un abbassamento drastico. All'inizio degli anni Sessanta, Chet Jastremski riuscì a migliorare il record del mondo per ben sei volte nello stesso anno solare, portandolo da 1'11"1 a 1'07"5. Nonostante un andamento piuttosto regolare, tra le donne ha fatto parlare di sé Leisel Jones, quando abbassò di oltre un secondo il record mondiale precedente, portando il limite a 1'05"09.

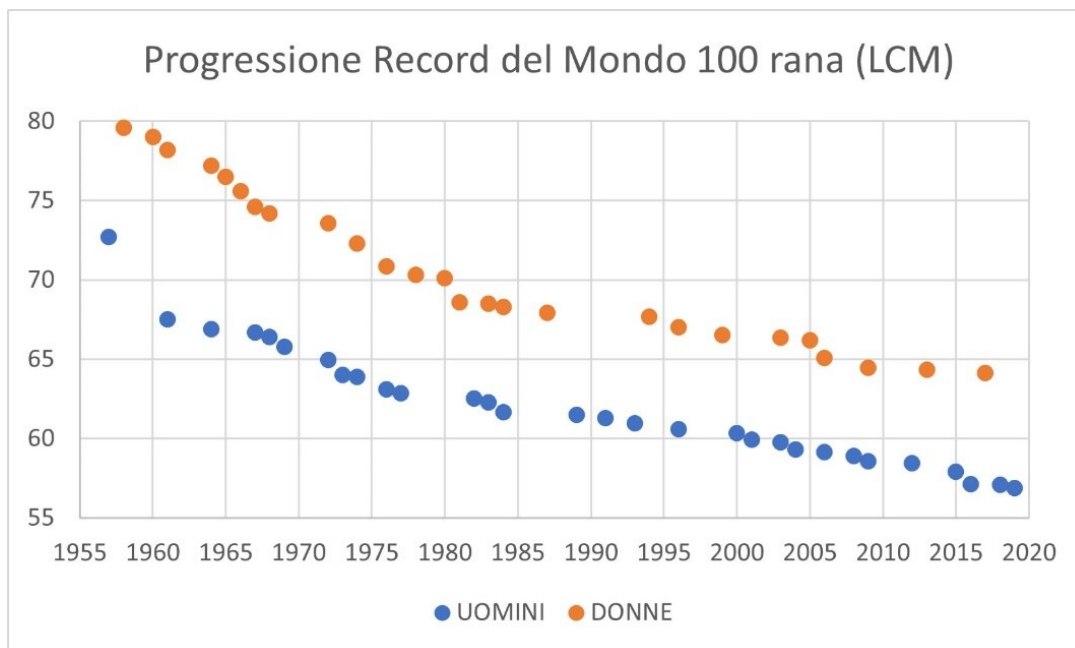


Grafico ricavato dai dati registrati nel sito:

https://it.wikipedia.org/wiki/Progressione_del_record_mondiale_dei_100_m_rana

La rana maschile moderna ha avuto un grande exploit da quando Peaty è salito in cattedra. A partire del 2015, l'anno del suo primo record del mondo, è riuscito a stampare ben cinque WR, detenendo ad oggi le prime dieci migliori prestazioni di sempre nei 100m rana: ha portato il 58"46 di Cameron Van Der Burgh, nuotato per vincere alle Olimpiadi di Londra nel 2012, a 56"88, migliorando così di oltre un secondo e mezzo il tempo del campione sudafricano.

Adam Peaty ha rivoluzionato la nuotata della rana a livello competitivo e alzato notevolmente lo standard prestativo nel panorama mondiale. La sua azione è caratterizzata dall'esecuzione di un *late kick*, ovvero una gambata posticipata rispetto all'uso comune. A riguardo non ci sono ancora studi che hanno analizzato questo tipo di strategia, che ad oggi rimane ancora imbattibile tra le corsie.

La dominazione di Peaty e l'evoluzione dello stile nel corso del tempo, ha portato ad uno standard prestativo molto più alto rispetto al passato. Se si confrontano i risultati delle ultime cinque olimpiadi, si può notare come il miglioramento del WR di Peaty porti con sé anche un abbassamento dei tempi da parte degli altri partecipanti: la rana non è dunque uno stile "stagnante", ma in continuo cambiamento.

| OLIMPIADE | TEMPO 1° POSTO | TEMPO 8° POSTO | VINCITORE |
|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| Tokyo 2020 | 57"37 | 59"36 | A. Peaty |
| Rio 2016 | 57"13 | 59"95 | A. Peaty |
| Londra 2012 | 58"46 | 1'00"84 | C. Van Der Burgh |
| Pechino 2008 | 58"91 | 1'00"24 | K.Kitajima |
| Atene 2004 | 1'00"08 | 1'02"42 | K. Kitajima |

Tabella ricavata dai dati registrati nel sito:

<https://olympics.com/en/olympic-games/olympic-results>

5.2 La rana delfinata

La delfinazione rappresenta la nuova frontiera nell'evoluzione della tecnica nella rana, anche se i primi accenni nella letteratura scientifica risalgono a un paio di decenni fa (Sanders, Cappaert, Pease, 1998), dove si iniziava a introdurre il concetto di “*flylike*”; nonostante questa precocità, il tema non è stato molto esplorato scientificamente, ma è ben noto tra le discussioni nel campo di gara.

Uno studio che indaga l'accelerazione del corpo nella rana in relazione alle fasi propulsive ha dimostrato che la $V_{50_{\text{surface breast}}}$ può essere correlabile al movimento “*dolphin-like*” (Strzala et al., 2017). Nelle conclusioni, si riconoscono i possibili vantaggi che si possono trarre dall'ondulazione del corpo riconducibile a quella della nuotata a delfino, eseguendo questo movimento nell'immersione della testa e di conseguenza del tronco durante ogni ciclo.

La rana delfinata simula parzialmente l'esecuzione di una gambata a delfino. Alla fine della propulsione delle gambe, l'obiettivo è quello di tenere il bacino più vicino alla superficie dopo aver effettuato il recupero delle braccia con l'immersione di testa e tronco. L'idea è quella di sfruttare l'inerzia generata dal movimento del tronco, trasferirla poi al bacino, per non avere uno spostamento del bacino verso il basso. Questo concetto riprende la delfinazione, dove il movimento ondulatorio parte al livello dell'anca e si trasferisce simmetricamente lungo gli arti inferiori, sfociando poi nella spinta dell'acqua verso il basso effettuata dal dorso del piede.

Come già visto, la posizione dell'anca non rispecchia quella del centro di massa (Gourgoulis et al., 2018), ma nella delfinazione è importante tenere conto della posizione del corpo più idrodinamica possibile, che consente minore resistenza all'avanzamento (Vilas-Boas, Costa, Fernandes et al. 2010). Sollevando il bacino la conseguenza è un'anca meno flessa, quindi minore inclinazione del tronco e resistenza frontale all'avanzamento. Quando il *drag* è minore, si riduce anche il costo energetico e di conseguenza aumenta l'efficienza nel ciclo completo (Zamparo et al., 2020).

Riassumendo, eseguire in maniera corretta la rana delfinata, permette di avere dei vantaggi in termini di performance. Eseguire una delfinazione efficace aumenta la $V_{50_{\text{surface breast}}}$, consentendo quindi di ricoprire la distanza voluta in meno tempo. Una

questione da tenere a mente è però il rapporto tra tecnica e velocità, poiché questa particolare nuotata richiede un alto livello di tecnica, che solitamente ad alte velocità tende a peggiorare. Per questo, la rana delfinata può risultare più efficace nella gara dei 200m, dove la velocità media e lo stroke rate sono inferiori rispetto ai 50m e 100m.

CONCLUSIONI

La rana è uno degli stili natatori più particolari, caratterizzato da un regolamento che ne definisce i limiti, ma personalizzabile e difficilmente riconducibile ad una tecnica unica: ogni atleta adotta delle strategie e delle varianti che sono soggettive e costruisce lo stile in base alle proprie peculiarità. Durante una mia conversazione con il Maestro dello Sport Vincenzo De Sio, è emerso il tema dell'unicità di questo stile e lui ha più volte definito la rana come “uno stile artistico”, poiché tutti i raniisti possiedono una tecnica diversa a seconda della distanza da nuotare, delle caratteristiche antropometriche (Sammoud et al., 2018) e dal livello di coordinazione.

Ad ogni modo, la tecnica è comunque riconducibile a fasi di propulsione e recupero, svolte in maniera alternata dalle gambe e dalle braccia per evitare cali di velocità (Strzała et al., 2013). Nell'azione degli arti inferiori e di quelli superiori, sono presenti fasi di *outsweep* e *insweep*, ovvero delle spinte o trazioni che rispettivamente si allontanano e si avvicinano alla linea mediale del corpo.

Lo studio dei parametri spazio-temporali permette di svolgere un'analisi quantitativa della nuotata, con lo scopo di ottimizzare la prestazione. Le variazioni di velocità devono essere ridotte se si vuole ottenere una velocità media finale maggiore, mentre il fenomeno dell'*overlapping* può risultare vantaggioso se si vuole performare in brevi distanze.

Avere una nuotata efficiente significa trasformare il lavoro svolto in avanzamento, con le minori perdite energetiche possibili. Questo è possibile agendo sulla tecnica, migliorandola cercando di evitare ulteriori resistenze idrodinamiche; il consolidamento di una tecnica efficace permette di svolgere meno fatica per ricoprire la stessa distanza e di impiegarci meno tempo. L'investigazione dell'azione muscolare durante il ciclo consente di individuare le esigenze a livello di forza utili al raniista, per poter poi sviluppare una corretta preparazione fisica: anche in questo caso, la conoscenza è fondamentale per agire nella direzione giusta evitando, invece, di provocare effetti non voluti.

La rana è uno stile in continua evoluzione e aggiornamento, come suggerisce la progressione del record del mondo. Nuove frontiere e nuove tecniche stanno prendendo piede anche in panorama mondiale, come il *late kick* di Adam Peaty o la rana delfinata,

ormai diventata normalità nelle gare internazionali; è dunque importante stare al passo con i tempi studiando ciò che la scienza propone, per essere aggiornati e poter performare al meglio.

BIBLIOGRAFIA

- Barbosa T. et al. (2011).** Biomechanics of competitive swimming strokes; *Biomechanics in Applications*
- Capelli C. et al. (1998).** Energetics of swimming at maximal speeds in humans; *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*
- Cohen R., Cleary P., Harrison S. et al. (2014).** Pitching effects of buoyancy during four competitive swimming strokes; *Journal of applied biomechanics*
- D'Acquisto L., Costill D. (1998).** Relationship between intracyclic linear body velocity fluctuations, power, and sprint breaststroke performance; *Journal of Swimming Research*
- Di Prampero P. (1986).** The energy cost of human locomotion on land and in water; *International journal of sports medicine*
- FIN (2014).** Dispense Corsi Allievo Istruttore e Istruttore di Base
- FINA (2005).** FINA Swimming Rules 2005-2009
- FINA (2017).** FINA Swimming Rules 2017-2021
- Fritzdorf S., Hibbs A., Kleshnev V. (2009).** Analysis of speed, stroke rate, and stroke distance for world-class breaststroke swimming; *Journal of sports sciences*
- Gourgoulis V., Koulexidis S., Gketzenis P., Tzouras G., (2018).** Intracyclic Velocity Variation of the Center of Mass and Hip in Breaststroke Swimming With Maximal Intensity; *Journal of strength and conditioning research*
- Hayashi Y., Homma M., Luo Z. (2015).** Optimal timing of dolphin kick during breaststroke underwater swimming movement; *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, IEEE-ROBIO 2015*
- Holmer I. (1974).** Energy Cost of Arm Stroke, Leg Kick and the Whole Stroke in Competitive Swimming Styles; *European Journal of Applied Physiology*
- Kolmogorov, S. V., Duplishcheva O. A. (1992).** Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity; *Journal of biomechanics*
- Leblanc H., Seifert L., Baudry L., Chollet D. (2005).** Arm-leg coordination in flat breaststroke: a comparative study between elite and non-elite swimmers; *International journal of sports medicine*

Martens J., Daly D. (2012). Qualitative evaluation of water displacement in simulated analytical breaststroke movements; *Journal of human kinetics*

Nuber G. et al. (1986). Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming; *The American journal of sports medicine*

Olstad B., Gonjo T., Conceição A. et al. (2022). Arm-leg coordination during the underwater pull-out sequence in the 50, 100 and 200 m breaststroke start; *Journal of science and medicine in sport*

Olstad B., Wathne H., Gonjo T. (2020). Key Factors Related to Short Course 100 m Breaststroke Performance; *International journal of environmental research and public health*

Olstad B., Zinner C., Vaz J., et al. (2017). Muscle Activation in World-Champion, World-Class, and National Breaststroke Swimmers; *International Journal of Sports Physiology and Performance*

Ruwe P. et al. (1994). The normal and the painful shoulders during the breaststroke. Electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles; *The American journal of sports medicine*

Sammoud S. et al. (2018). 100-m breaststroke swimming performance in youth swimmers: The predictive value of anthropometrics; *Pediatric Exercise Science*

Sanders R., Cappaert, J., Pease D. (1998). Wave Characteristics of Olympic Breaststroke Swimmers; *Journal of Applied Biomechanics*

Seifert L., Chollet, D. (2005). A new index of flat breaststroke propulsion: a comparison of elite men and women; *Journal of sports sciences*

Strzala M., Krezalek P., Glab G., et al. (2013). Intra-cyclic phases of arm-leg movement and index of coordination in relation to sprint breaststroke swimming in young swimmers; *Journal of Sports Science and Medicine*

Strzala M., Stanula A., Ostrowski A. et al. (2017). Propulsive limb coordination and body acceleration in sprint breaststroke swimming; *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*

Takagi H., Sugimoto S., Nishijima N., Wilson B. (2004). Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke; *Sports biomechanics*

Trendafilov D. (2015). DEVELOPMENT OF STYLE BREAST STROKE FROM THE ANTIQUITY TO 1952; *Activities in Physical Education & Sport*

Troup J. (1999). THE PHYSIOLOGY AND BIOMECHANICS OF COMPETITIVE SWIMMING; *Clinics in Sports Medicine*

Van Houwelingen J. et al. (2017). Pacing the phasing of leg and arm movements in breaststroke swimming to minimize intra-cyclic velocity fluctuations; *PloS one*

Vilas-Boas J., Costa L., Fernandes R. (2010). Determination of the Drag Coefficient during the First and Second Gliding Positions of the Breaststroke Underwater Stroke; *Journal of Applied Biomechanics*

Xin-Feng W. et al. (2007). A new device for estimating active drag in swimming at maximal velocity; *Journal of sports sciences*

Zamparo P., Cortesi M., Gatta G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants; *European journal of applied physiology*

RINGRAZIAMENTI

Vorrei approfittare di quest'ultima pagina per ricordare tutte le persone che hanno reso possibile questo, grazie...

...a Mamma e Papà; con i vostri sacrifici avete tracciato il mio percorso di vita e fatto capire la differenza tra il giusto e lo sbagliato. Non avete mai dubitato di me e in queste poche righe non riuscirò mai a ringraziarvi abbastanza. Siete la mia più grande fonte d'ispirazione e l'esempio da seguire, non solo per me, ma per tutti quelli che incontrate nella vostra vita.

...a Marco e Giulio, i miei due fratelloni; sempre disponibili, mi avete fatto capire quanto è importante avere le orecchie dritte e uno sguardo critico sul mondo. Stare con voi significa essere messi alla prova per migliorare, mi fate crescere volta per volta. Morena e Sophie, siete come le sorelle maggiori che non ho mai avuto, grazie perché siete un punto di riferimento su cui posso sempre contare.

...alla mia compagnia che mi segue dai tempi delle medie; nonostante tutto questo tempo ci incontriamo ancora e siamo uniti come la prima volta. Stare con voi è come sentirsi dentro una famiglia allargata. Mi sapete tirare su quando sono triste e ogni momento assieme a voi è unico. Martina, mi hai insegnato cosa vuol dire non avere pregiudizi ed essere forte, stai sicura che non lo dimenticherò facilmente.

...ai miei amici e amiche di Quinto; mi fate sentire come a casa e riuscite a strapparmi sempre un sorriso. Tra feste e festoni, tendate e tendoni, siete capaci di distrarmi dalla frenesia che a volte mi travolge. Beatrice, ci conosciamo da quando eravamo alti pochi centimetri e sei come una sorella gemella, grazie di esserci.

...alla piscina; senza di lei non ci sarebbe questa tesi. Qui ho imparato che per raggiungere i propri obiettivi bisogna faticare più degli altri; ho conosciuto tantissime compagne e compagni che mi hanno dato la forza per andare avanti nei momenti difficili, grazie a Filippo, Francesca, Angelo e Lorenzo. Ai miei allenatori, in particolare Chiara, Paolo, Barbara e Manuela, che mi avete fatto andare su e giù per una vasca, ma sempre con la motivazione e la carica giusta. A Simone, ti ringrazio per avermi introdotto in un mondo speciale che mi incuriosisce. Al Dottor Paolo, già sai che questa tesi è stata prodotta per confutare le tue strane idee da dorsista.

...a Nicolò, Stefano e Marco; un ringraziamento particolare va a voi, che ci siete sempre stati e riempite le mie giornate da più di 10 anni. Con voi ho scoperto cosa vuol dire l'amicizia vera, piena di passioni, scherzi e confronti, ma soprattutto sincerità. So che di voi posso fidarmi ciecamente, mi avete supportato e sopportato per tutto questo tempo, spero di essere stato un amico importante tanto quanto lo siete stati voi per me.

...a Pepe, piccolo compagno di scrittura scomparso troppo presto. Mi hai accompagnato nella stesura di questa tesi e fatto capire che le piccole cose vanno vissute al 100%, perché tutto può svanire nel nulla in poco tempo.

Grazie a tutti voi, che mi avete reso la persona che sono, con i miei pregi e anche i miei difetti.