

# LA TECNICA DEL NUOTO

47° ANNO  
NUMERO UNICO 2020

IN COLLABORAZIONE CON LA FEDERAZIONE ITALIANA NUOTO



**Arianna Bridi**

*Per la prima volta  
una donna davanti agli uomini:  
è accaduto alla Capri-Napoli*



Rivista fondata nel 1974  
da Camillo Cametti

47° ANNO - NUMERO UNICO 2020

Sport Communication srl

Via G. Leopardi 2, 37138 Verona  
info@mondonuoto.it

## Direzione

Copia singola; euro 15,00

Autorizzazione del  
Tribunale di Verona n. 302  
del 15/03/1974

## Impaginazione

Vision3 snc  
Bussolengo - VR

## Stampa

Mediaprint srl  
San Giovanni Lupatoto - VR

## Direttore responsabile

Camillo Cametti

## Coordinatore Gruppo di lavoro

Marco Bonifazi

## In copertina

Arianna Bridi: alla Capri-Napoli per  
la prima volta una donna davanti agli  
uomini.



Le fotografie di questo  
numero, ove altrimenti non  
specificato, sono di:  
Giorgio Scala,  
Andrea Masini, Giorgio  
Perottino, Andrea Staccioli  
<https://deepbluemedia.eu/insidefoto.com>



# SOMMARIO

**NUOTO - LA PREPARAZIONE E LE VARIE FASI DELLA PARTENZA**

## LA KICK START

pag. 03

di Ivo Ferretti

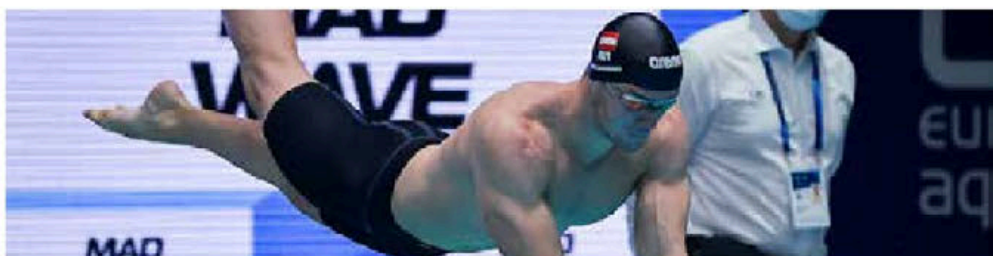


**RICERCA - LE TECNICHE DI MISURAZIONE  
PER OTTIMIZZARE IL MOVIMENTO**

## COME GENERA PROPULSIONE IL NUOTATORE?

pag. 15

di Matteo Cortesi, Paola Zamparo, Riccardo Zoboli,  
Riccardo Olivato, Vittorio Coloretti, Giorgio Gatta

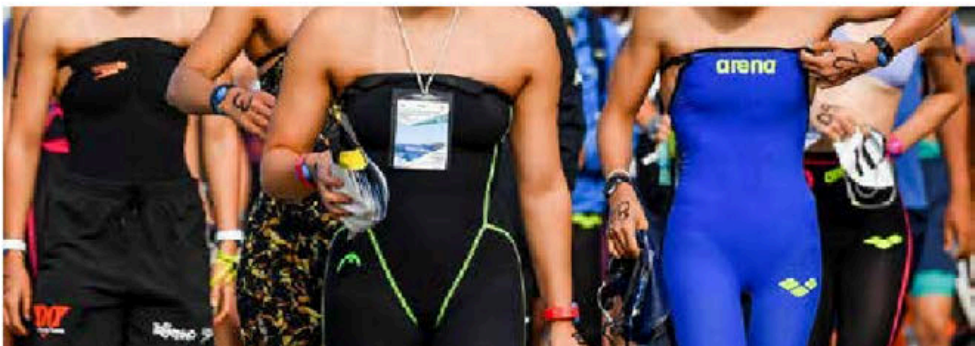


**NUOTO IN ACQUE LIBERE E TRIATHLON  
PROTEZIONE TERMICA E MIGLIORI PRESTAZIONI**

## UN "TUFFO" CON LA MUTA

pag. 25

di Emanuele Dello Stritto, Claudio Quagliarotti, Matteo Cortesi,  
Roberto Baldassarre, Giorgio Gatta, Marco Bonifazi,  
Paola Zamparo, Maria Francesca Piacentini







# LA KICK START

di Ivo Ferretti

Docente SIT - FIN. Responsabile Area Biomeccanica FIN

## INTRODUZIONE

Contrariamente a quanto accade nell'atletica leggera, nel nuoto la partenza è vantaggiosa.

Nei 100 mt. piani, ad esempio, l'atleta deve accelerare, da 0 m/s (segnale "take your marks") alla velocità media di gara di circa 10 m/s (gli atleti, però, raggiungono velocità di picco di circa 12 m/s). Un nuotatore che affronti la gara più veloce del programma olimpico, i 50 stile libero, invece, pur partendo da fermo entra in acqua ad una velocità (oltre 7 m/s) nettamente superiore a quella di gara (2,1-2,2 m/s).

Ovviamente, mentre per l'atleta che corre i 100 piani è fondamentale essere dotato di una grande accelerazione che lo porti nel **più breve tempo possibile** a raggiungere le velocità di picco, per il nuotatore è fondamentale mantenere più a lungo possibile la velocità iniziale, decelerando fino alla velocità di nuoto nel **maggior tempo possibile**.

Quando entra in acqua, il nuotatore ne sperimenta la resistenza (*drag*) che si oppone al suo avanzamento facendone diminuire la velocità.

L'ingresso in acqua e la traiettoria di ingresso sono forse la parte più critica della partenza, perché anche un piccolissimo errore, in queste fasi, può far perdere centesimi, o addirittura decimi di secondo determinanti.

Un vecchio adagio popolare recita "CHI BEN COMINCIA E' A META' DELL'OPERA" e, specialmente per le gare di velocità, nulla è più vero.

Il grande progresso tecnico degli ultimi anni ha portato ad una diminuzione del "gap" tra le prestazioni degli atleti di élite.

Capita molto spesso che la differenza tra il primo e il terzo classificato sia di pochissimi centesimi di secondo, pertanto è comprensibile che gli allenatori e gli atleti pongano un'attenzione "maniaca-

le" ai particolari tecnici, come le partenze, le virate e gli arrivi, che possono fare la differenza.

La partenza con entrambi i piedi aggrappati al bordo del blocco (*grab start*) è stata da tempo soppiantata dalla *track start* (partenza da pista) in cui l'atleta si aggrappa al blocco con entrambe le mani e posiziona un solo piede sul bordo anteriore, mentre l'altro viene poggiato sulla parte posteriore.

Dalle Olimpiadi di Londra (2012), nelle competizioni internazionali è diventato obbligatorio l'uso dei "retrofit" (una sorta di alette, inclinate di 45°, che possono essere posizionate a diverse distanze, secondo l'altezza o la comodità dell'atleta).

Questa innovazione, unitamente all'aumento della lunghezza dei blocchi stessi da (50 a 70 cm), ha consentito di effettuare partenze molto più efficaci rispetto al passato.

## LE FASI DELLA PARTENZA "DA FUORI"

Le varie fasi della partenza sono collegate l'una con l'altra e ogni fase dipende dalle precedenti e influenza le successive.

Possiamo distinguere le seguenti fasi:

- La preparazione ("take your marks");
- Lo stacco e il volo;
- L'ingresso in acqua;
- La subacquea;
- L'uscita ("break-out").

Analizzeremo, inizialmente la partenza "da fuori", ovvero quella della **farfalla**, della **rana** e dello **stile libero**.

## LA PREPARAZIONE

Al segnale di "a posto" (*take your marks*), l'atleta si posiziona con un piede sul bordo del blocco e l'altro sull'atleta posteriore. Ci sono sostanzialmente due modi di prepararsi ad effettuare una track start: "weight forward" (peso in avanti) e "weight back" (peso indietro). Il numero di nuotatori che esegue l'una o l'altra tecnica è pressappoco uguale: la maggior parte delle donne esegue la *weight forward*, mentre moltissimi uomini eseguono la *weight back*.

Nella partenza *weight forward* il peso dell'atleta è sul piede avanti e il baricentro spostato verso il bordo anteriore; le spalle in linea con le braccia e con la parte frontale del blocco. La testa è

leggermente oltre la linea delle braccia. L'atleta assume una posizione stabile e bilanciata, cercando di sporgersi il più possibile in avanti, verso la parte frontale del blocco di partenza. Alcuni atleti si preparano per la partenza piegando le braccia, mentre altri le mantengono tese. L'angolo tra la coscia e la tibia della gamba posteriore deve essere di 90°, per assicurare all'atleta la massima velocità di reazione al via.

In questa tecnica, infatti, le braccia non contribuiscono alla propulsione, ma vengono riportate avanti rapidamente aiutando il corpo ad allinearsi velocemente sulla direzione di stacco.

La gamba posteriore deve spingere per prima, assicurando lo sbilanciamento in avanti dell'atleta, prima della spinta di quella anteriore.





La maggior parte degli esecutori della *track start forward weighted* posiziona la gamba dominante in avanti per assicurarsi la massima spinta di uscita dal blocco. Questa però non è una regola generale. Nella partenza *back weighted*, l'atleta si prepara sul blocco come se dovesse eseguire una partenza *forward weighted*. Al segnale di "*take your marks*" però il nuotatore si aggrappa al bordo del blocco e porta tutto il corpo all'indietro di circa 5°-10° rispetto alla verticale, spostando il peso principalmente sulla gamba dietro. In questa posizione il centro di massa viene spostato leggermente indietro rispetto alle mani, che sono aggrappate al bordo del blocco, con un angolo delle braccia leggermente arretrato rispetto alla posizione verticale.

Poiché l'angolo di 90° tra la tibia e la coscia fisiologicamente assicura la massima rapidità e potenza nella spinta, l'atleta deve cercare di mantenere il bacino molto alto e fare attenzione, arretrando, a non chiudere troppo questo angolo.

Una buona soluzione per ottenere questo scopo è quella di mantenere la gamba avanti tesa durante il caricamento del corpo.

Questa tecnica permette agli atleti di poter sfruttare tre differenti sorgenti per la propulsione: braccia, gamba dietro e gamba avanti.

Ovviamente ciascuna delle due partenze ha i suoi pro e i suoi contro; per questo, probabilmente, il numero di esecutori dell'una o dell'altra è all'incirca uguale.

La **partenza *weight forward*** ha il vantaggio di una **maggior velocità di stacco**.

Ne possono **beneficiare gli atleti con una gambata del delfino subacquea particolarmente efficace**. Presenta però lo **svantaggio di non assicurare all'atleta una grande potenza nello stacco**.

Per contro la **partenza *weight back*** presenta il vantaggio di una **maggior potenza di uscita dal blocco**, dovuta all'accoppiamento delle azioni propulsive delle differenti risorse.

Presenta, però, lo svantaggio di **richiedere un tempo maggiore per staccarsi dal blocco**.

Ritengo che i migliori atleti maschi nella partenza, a livello mondiale, at-

tualmente siano Caeleb Dressel (U.S.A.) e Brad Tandy (Sud Africa).

Non è un caso che questi atleti adottino entrambi una partenza *weight back*. Essi sono dotati entrambi di un'ottima capacità di reazione e di "*vertical jump*" e di un gran numero di fibre muscolari veloci (fibre bianche).

Oltre alla grande capacità di salto, questi due atleti sono dotati di un'ottima battuta subacquea di gambe delfino.

Tra le migliori atlete al mondo nella partenza, troviamo invece Sarah Sjöström e Ranomi Kromowidjojo, che adottano entrambe una tecnica *weight forward* e sono dotate di una gambata subacquea incredibilmente veloce.

Ci possono essere molte altre ragioni, oltre alla velocità nella subacquea, per cui un atleta opta per la *weight forward* anziché per la *back*: un tempo di reazione troppo lento, uno scarso "*vertical jump*" o l'incapacità di accoppiare l'azione propulsiva degli arti e/o la non corretta coordinazione per sviluppare la massima potenza di stacco dal blocco. Questo, probabilmente, è il motivo per cui Florent Manaudou, uno degli atleti maschi più veloci al mondo, in partenza utilizza una tecnica *weight forward*.

## STACCO E VOLO

Immediatamente dopo il comando "a posto", sia nella *weight forward* che nella *back* l'atleta si aggrappa al bordo anteriore del blocco. Alcuni come Tandy preferiscono tenere le braccia tese, bloccate tra le spalle e tenere le dita e il pollice sul bordo anteriore del blocco. Qualcuno preferisce portare i gomiti verso l'esterno, altri verso dietro.

Dressel, invece, afferra gli angoli del piatto, tenendo il pollice sul bordo anteriore e le dita sul lato, con una leggera flessione dei gomiti indietro.

La testa deve essere tenuta in linea con la schiena, o leggermente in basso, ma non troppo bassa o alta.

Molti atleti, sia con l'una che con l'altra tecnica, dopo il comando di "a posto" appiattiscono la schiena, altri la mantengono curva.

Gli studi hanno dimostrato che non ci sono grandissime differenze tra tenere le braccia tese o piegarle e tra mante-

nere la schiena curva o appiattita: l'importante è mantenere il bacino alto.

Anche se gli atleti di élite adottano soltanto due tipi di tecnica per prepararsi alla partenza, nella fase di stacco e nella successiva fase di volo utilizzano almeno quattro diverse modalità:

- **slancio delle braccia direttamente in avanti;**
- **riporto flessione con slancio degli arti superiori sotto il corpo;**
- **riporto flessione con slancio degli arti superiori sopra il corpo;**
- **riporto teso degli arti superiori sopra il corpo.**

Nella tecnica con **slancio in avanti**, l'atleta fa esattamente questo. Non c'è alcuna spinta dalle braccia sulla parte frontale del blocco, le braccia lasciano la loro presa sul blocco e vengono slanciate in avanti alla ricerca della posizione "*streamline*".

Il movimento delle braccia è lento e non contribuisce molto alla velocità di stacco, non producendo molta energia cinetica.

Questa tecnica viene utilizzata quasi esclusivamente da atleti che adottano una preparazione *weight forward*.

Un maggior apporto all'energia cinetica si ha con la tecnica di **riporto flessione sotto il corpo** avanti per raggiungere la posizione affusolata di ingresso in acqua.

La sequenza mostra la partenza di Florent Manaudou, il quale esegue una partenza *weight forward*, con **riporto flessione delle braccia, sotto il corpo**. (fonte You Tube "*Florent Manaudou start slow motion*").

La tecnica con **riporto flessione delle braccia sopra il corpo** è usata generalmente dagli atleti che eseguono la *weight back start*. Questa è la tecnica adottata da Caeleb Dressel (vedi sequenza).

Al segnale di partenza tira violentemente con le braccia, poi spinge con la gamba dietro ed infine con la gamba avanti.

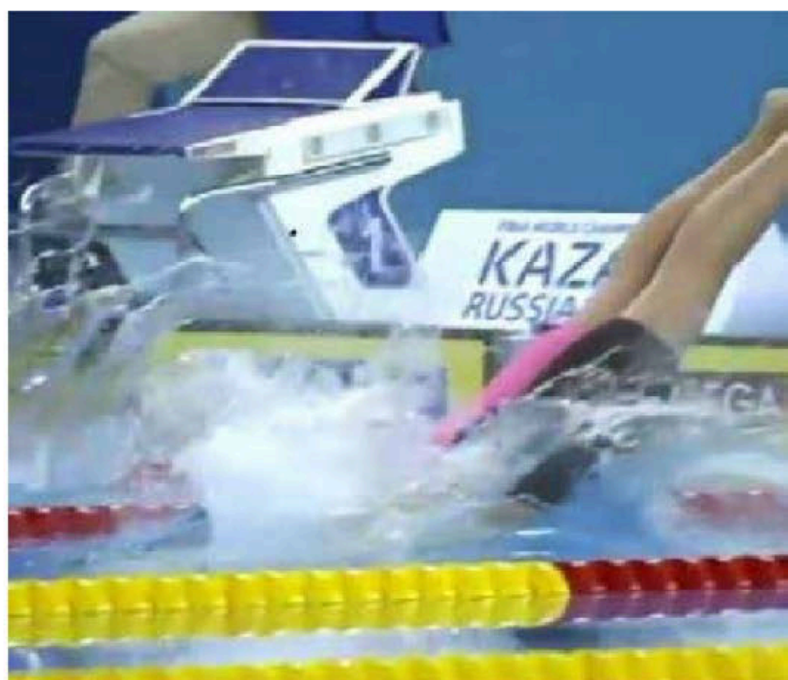
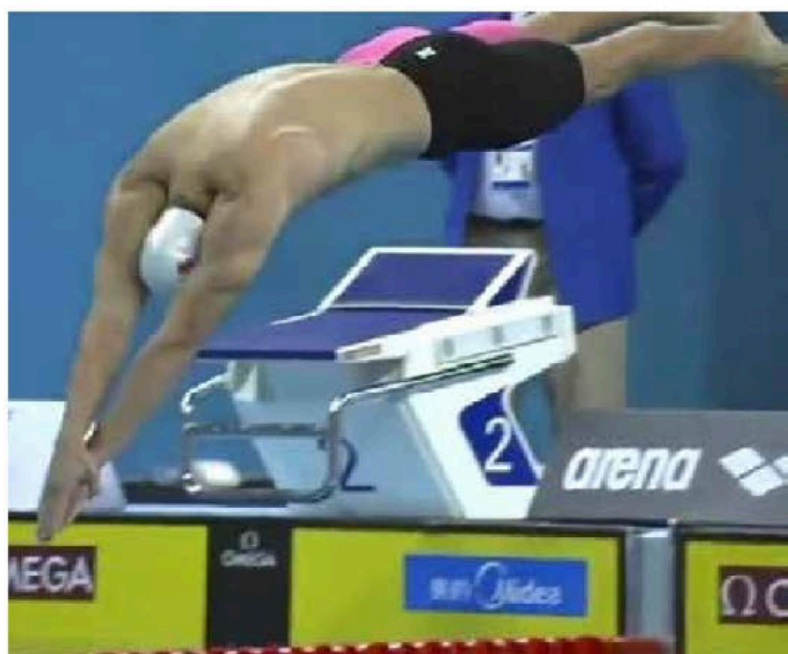
Quando le mani lasciano il blocco, sia con le braccia tese che con il gomito flessione, viene effettuata una flessione al gomito degli arti superiori ed un movimento verso l'alto e in avanti, descrivendo un piccolo cerchio.



L'ampiezza del cerchio dipende dal piegamento dei gomiti e dalla mobilità delle spalle e può essere più ampio se l'atleta riporta le braccia sopra la testa o più stretto se recupera gli arti superiori vicino alla testa. Dressel esegue questa tecnica con un cerchio abbastanza grande, passando sopra la testa.





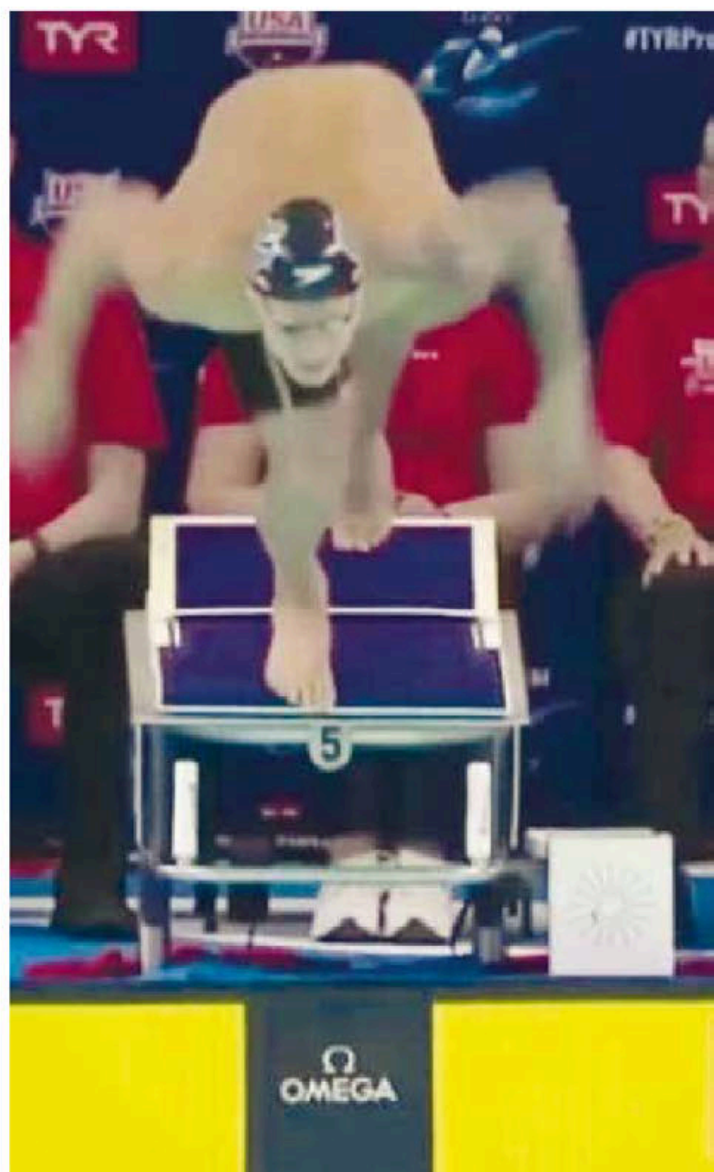




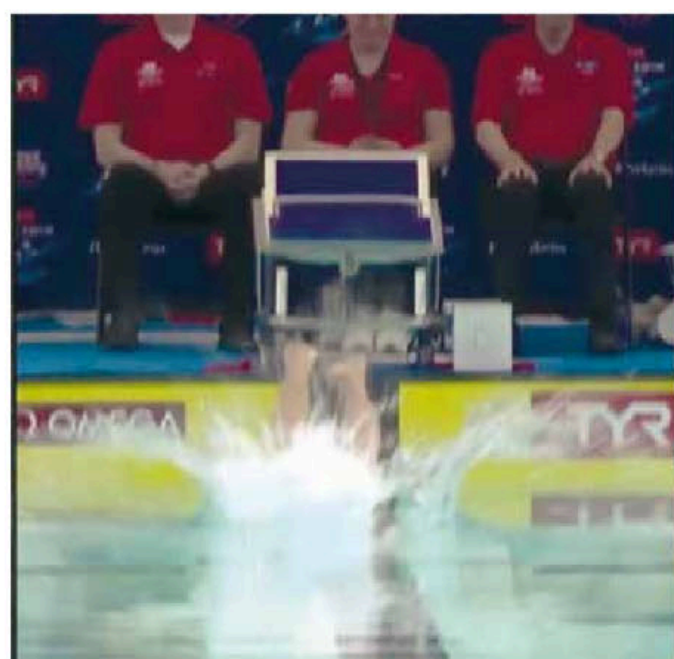
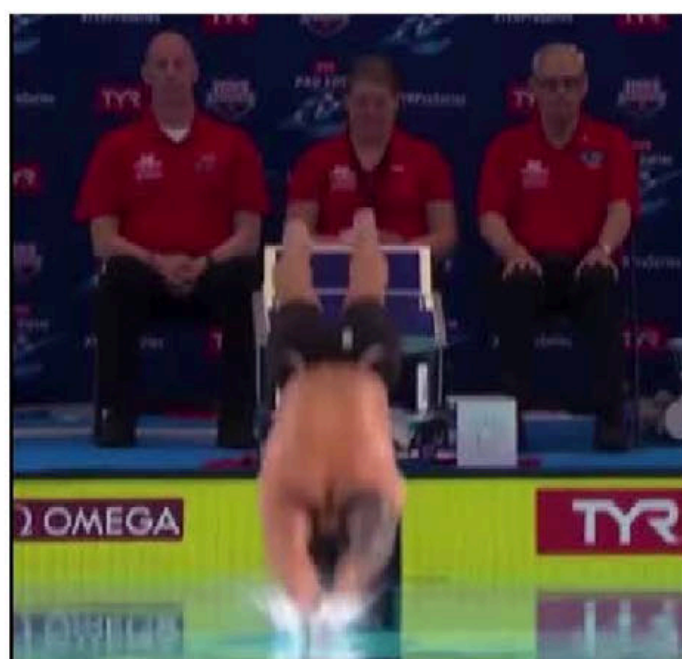
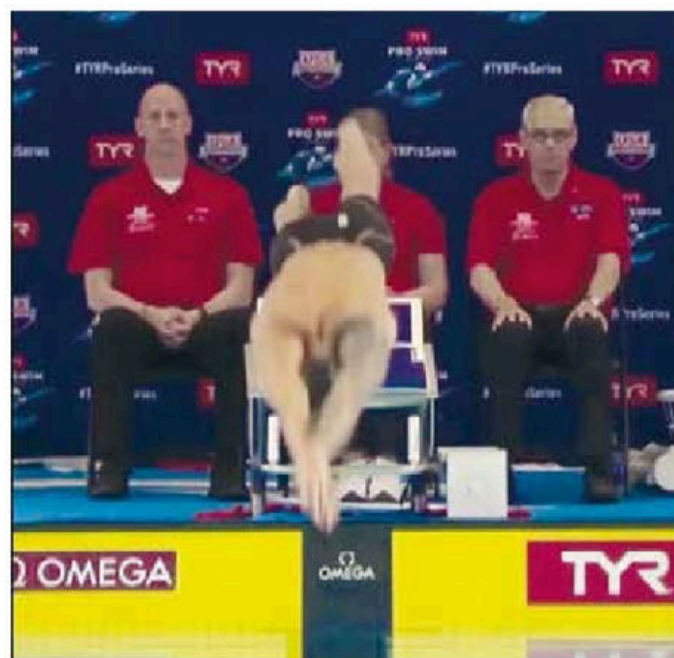
La sequenza mostra Caeleb Dressel che esegue una ottima partenza *weight back*, con **riporto flessione delle braccia sopra il corpo** (fonte *You Tube "competitive swimming start dives"*).

Nel **riporto a braccia tese** l'atleta effettua un movimento circolare.

Questa è la tecnica utilizzata da Brad Tandy ed è sicuramente la più efficace tra le varie modalità descritte, perché l'energia cinetica della rotazione delle braccia imprime una grande velocità nello stacco e non richiede una grande flessibilità delle spalle. Questa tecnica però non è priva di rischi, in quanto se l'atleta non riesce a chiudere le mani dopo la rotazione il risultato è molto peggiore di qualsiasi altra partenza più facile da eseguire.









La sequenza ci mostra Brad Tandy nell'esecuzione di una partenza *weight back* con **riporto degli arti superiori a braccia tese**. (fonte You Tube "competitive swimming start dives").

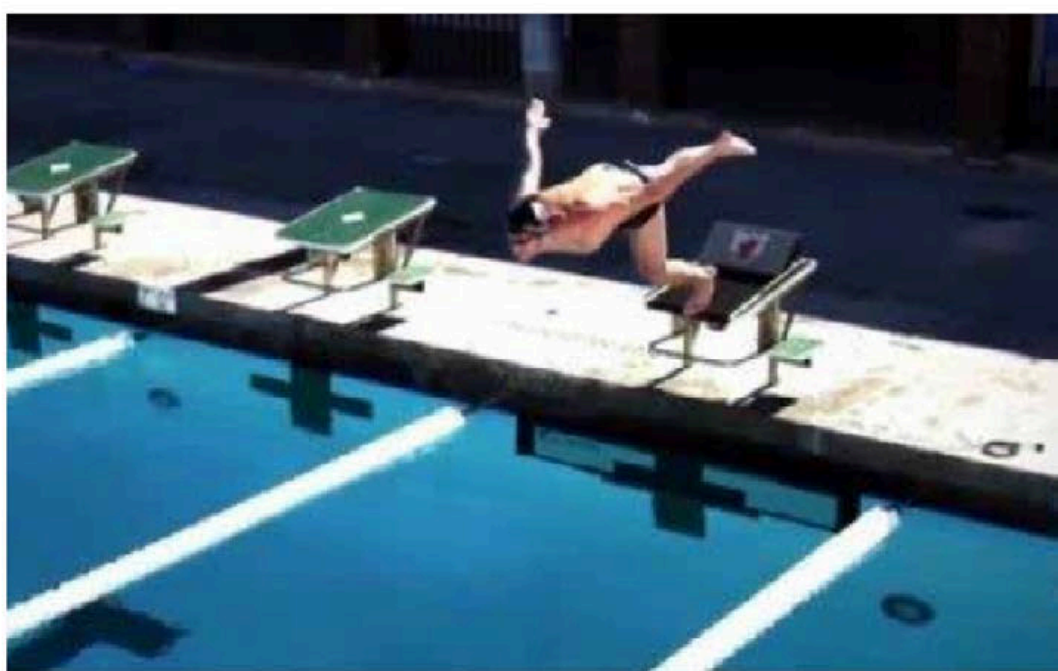
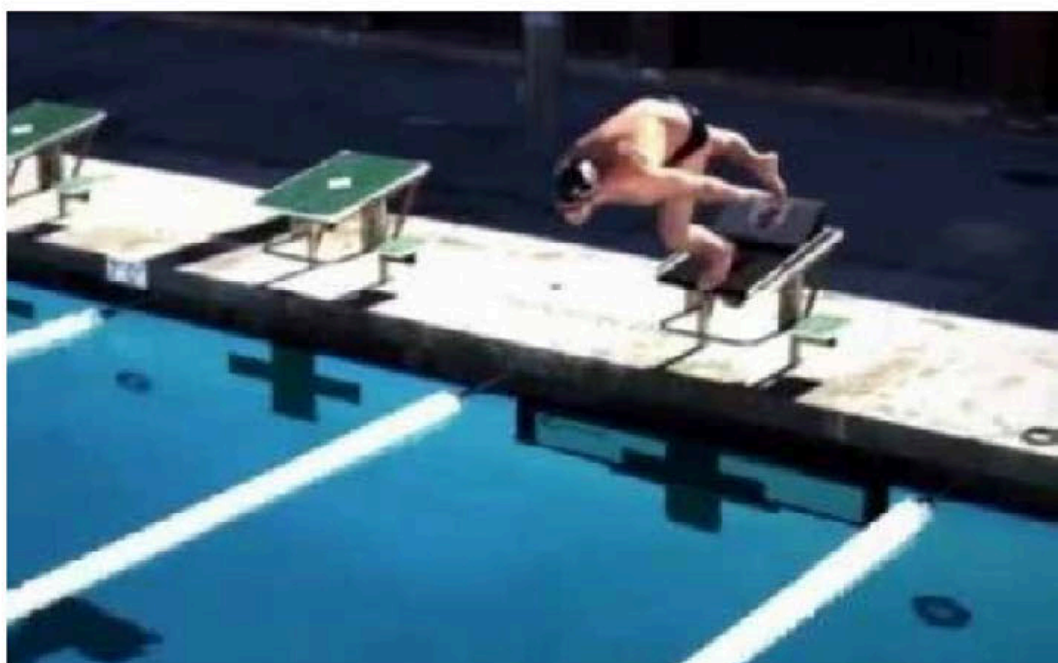
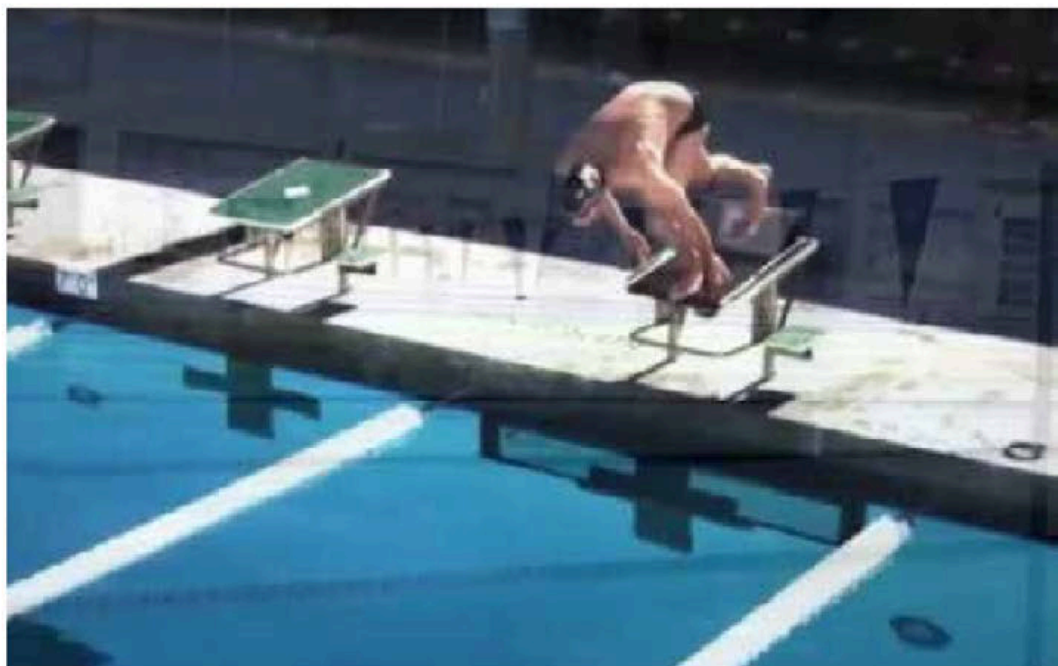
Sia nella partenza con il peso in avanti che in quella con il peso indietro, l'atleta deve **sollevare la testa durante lo stacco** per trasferire energia cinetica al corpo. Questa azione, inoltre, permette di effettuare una traiettoria del volo più lunga e più orizzontale. Ovviamente, però, la testa deve bloccarsi quando si è raggiunta la posizione *streamline*.

L'accoppiamento dell'azione delle braccia e del sollevamento del capo, con lo **slancio in alto della gamba dietro**, imprime all'atleta una grande velocità di uscita dal blocco. Anche questa è un'azione che viene effettuata in entrambe le tecniche ed ha l'effetto di sollevare gli arti inferiori, permettendo al nuotatore di eseguire un'ingresso in acqua molto efficace (tutto nello stesso buco). Nella partenza *weight forward*, lo slancio della gamba dietro è meno accentuato, in quanto l'angolo di uscita dal blocco è più vicino all'orizzontale. Nella partenza *weight back*, invece, l'atleta deve effettuare uno slancio deciso, con un potente calcio indietro verso l'alto, la gamba è resa all'inizio e viene leggermente flessa nella parte finale dello slancio.

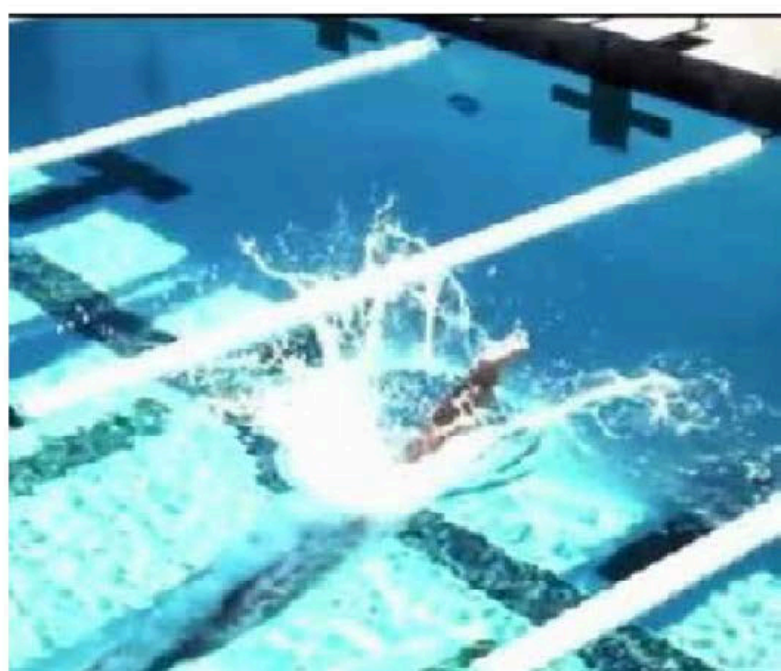
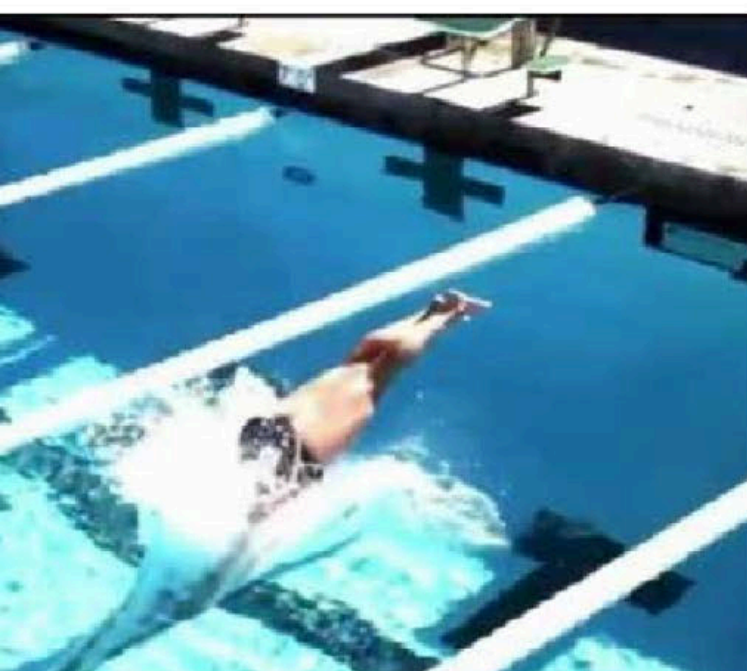
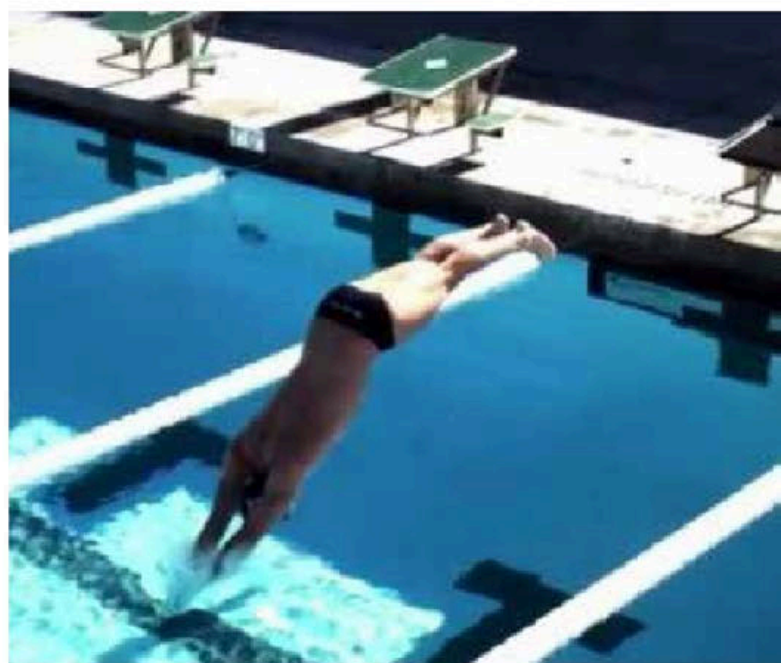
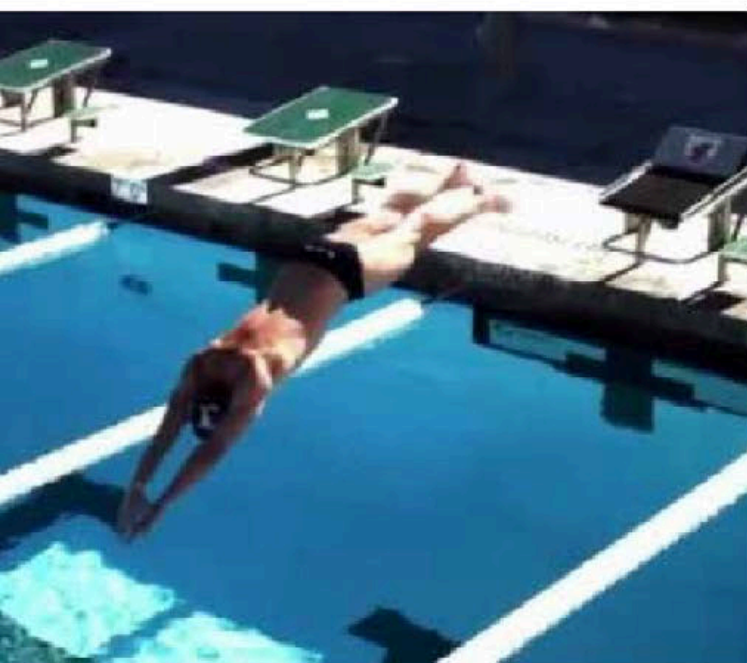
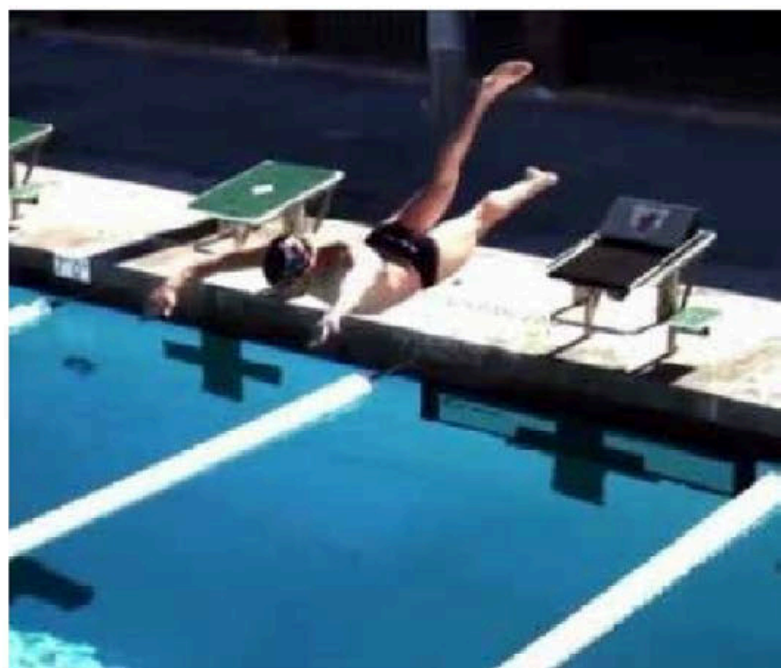
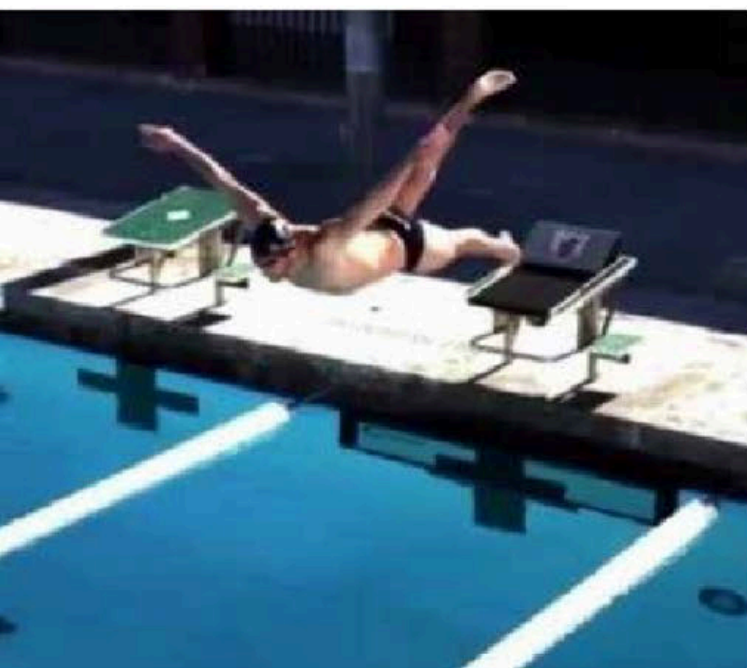
Chi usa questa tecnica si stacca dal blocco andando verso l'alto e utilizza **l'energia potenziale**, acquisita per avere una maggiore **energia cinetica** (= velocità) all'ingresso in acqua.

Lo slancio deciso della gamba dietro permette all'esecutore della partenza, con peso sulla gamba posteriore, di riallineare il corpo e di sollevare gli arti inferiori, permettendogli un ingresso in acqua efficace.

Andare più in alto, inoltre, assicura un volo balistico più lungo. Si impiega però più tempo per entrare in acqua.









## L'ENTRATA IN ACQUA

L'ingresso in acqua deve creare la minima resistenza possibile. Come già detto, infatti, il nuotatore entra in acqua ad una velocità molto maggiore di quella di nuoto. Minimizzare la resistenza all'avanzamento, quindi, garantisce al nuotatore di poter mantenere più a lungo possibile velocità elevate. È importante per l'atleta **"entrare tutto nello stesso buco"**, ma anche mantenere una traiettoria d'entrata che sia più possibile vicina alla direzione di avanzamento (linea retta).

Per creare la minima resistenza all'ingresso, l'atleta deve riuscire a **ricongiungere le mani** prima di toccare l'acqua, cercando di assumere una forma "a freccia": la testa è tra le braccia, l'articolazione della spalla è iperestesa, i gomiti tenuti verso l'interno, (come se si volesse fare di due arti uno solo), le mani sovrapposte, le dita e i pollici distesi e rivolti in avanti. Alcuni atleti (come Phelps) preferiscono non tenere le mani sovrapposte. È fondamentale che le mani non si separino all'entrata. Un altro accorgimento utilizzato per un'entrata efficace consiste nel **sollevare i fianchi** con una leggera flessione dell'anca, prima dell'ingresso (10°-20° per stile libero e delfino, 20°-30° per la rana), generalmente mentre si ricongiungono le mani per raggiungere lo *streamline*. Questa azione consente un'entrata "pulita", in quanto se le dita dei piedi e l'alluce sono in estensione le gambe saranno trainate dal busto ad assumere un angolo d'ingresso né troppo né poco ampio (circa 30°).

## LA FASE SUBACQUEA

All'ingresso in acqua l'atleta deve assumere e mantenere la posizione più affusolata possibile. Abbiamo già parlato della posizione *a freccia*, le spalle devono essere iperestese, la testa nascosta tra le braccia, i gomiti *bloccati* all'interno delle spalle, le dita delle mani e i pollici che puntano più possibile in avanti, i glutei in tenuta, le caviglie e le dita dei piedi in massima estensione. Poiché la velocità di entrata è oltre il triplo della velocità di nuoto, l'atleta dovrebbe cercare di sfruttare questo vantaggio, rimanendo in scivolo per una frazione di

secondo prima di effettuare la battuta di gambe delfino. Ricordiamo che nel **delfino e nello stile libero** (ma anche nel **dorso**) la battuta di gambe subacquea ha la funzione di mantenere più a lungo possibile la velocità d'entrata. Le prime battute devono essere più strette e successivamente diventare più ampie, come già detto nella parte dedicata al quinto stile.

Per effettuare una battuta di gambe delfino efficace si deve prestare un'attenzione particolare anche alla fase di *up-kick* (battuta verso l'alto) e non solo al *down-kick*.

Nella **rana** l'entrata in acqua è molto simile. Rispetto agli altri stili, la flessione all'anca viene effettuata con un angolo leggermente maggiore; l'atleta va un po' più sotto, cercando però di non effettuare una traiettoria eccessivamente profonda, che avrebbe il risultato di costringerlo ad un percorso più lungo (impiegando più tempo) per riemergere dalla subacquea.

L'unico colpo di gambe delfino viene effettuato per mantenere la velocità d'entrata, dopo uno scivolo di qualche frazione di secondo. Per non perdere velocità la bracciata lunga, il recupero degli arti superiori e il colpo di gambe rana devono essere effettuati senza soluzione di continuità, portando l'atleta all'uscita.

Uno degli errori più comuni dei rani, in questa fase, consiste nell'iniziare la flessione degli arti inferiori per preparare la gambata, non appena inizia il recupero di quelli superiori dopo la bracciata lunga. Questo è dovuto al fatto che, nella nuotata in superficie, il recupero degli arti inferiori viene effettuato durante quello degli arti superiori e comincia non appena le braccia iniziano il loro movimento in avanti. Si deve però considerare che, per regolamento, nella nuotata rana in superficie le braccia non possono superare la linea dei fianchi, mentre la bracciata subacquea è completa. Istintivamente il nuotatore tende ad iniziare la flessione del ginocchio quando inizia a riportare avanti le braccia, trovandosi così ad avere gli arti inferiori alla massima flessione (pronti per effettuare il colpo di gambe) quando le braccia sono ancora piegate sotto le spalle. Questo errore di coordinazione rende poco efficace il colpo di gam-

be, che verrà effettuato sulla distensione delle braccia riducendone l'effetto. Per poter sfruttare a pieno il colpo di gambe, il nuotatore deve essere in posizione *streamline*.

## IL BREAK-OUT

Il *break-out* (uscita dalla subacquea) ed il *break-in* (ingresso in acqua) sono due fasi determinanti per avere una partenza esplosiva. L'entrata in acqua, come già detto, deve essere effettuata "tutta nello stesso buco" (*all in a hole*), ma anche nell'uscita si deve cercare di rompere (*"break"*) la superficie dell'acqua nello stesso buco. Come nell'ingresso, in questa fase si deve vincere la tensione superficiale dell'acqua, ma nell'uscita, in aggiunta, si solleva una certa quantità d'acqua. L'acqua ha una densità di 1g/cm<sup>3</sup>; questo significa che un piccolo cubo di lato 10 cm equivale ad un kilogrammo di massa aggiuntiva che il nuotatore deve sollevare. È quindi evidente che la quantità d'acqua che l'atleta porta con sé ne riduce la velocità. Quanto minore sarà il "buco" di uscita, tanto più efficace sarà il passaggio dalla subacquea alla superficie.

Effettuare una buona uscita è essenziale per evitare perdite di velocità. Piccolissimi errori in questa fase possono portare a risultati disastrosi.

Uno degli errori più comuni consiste nell'interrompere l'azione delle gambe per passare dalla battuta delfino a quella crawl o dorso, prima di effettuare la prima bracciata. Questo errore porta ad una brusca decelerazione proprio nel momento in cui si dovrebbe essere molto veloci per rompere la superficie sollevando acqua.

Si consiglia, in fase di uscita, di continuare con la battuta di gambe delfino fino al raggiungimento della superficie e di attaccare la prima bracciata, effettuando l'ultima gambata delfino. Le prime due bracciate, inoltre, dovrebbero essere più corte, senza iperestensione della spalla, con una potente trazione, sovrapponendo l'azione degli arti superiori per "cavalcare" l'onda creata in uscita. Nelle nuotate **crawl**, **farfalla** e **dorso** è molto importante che la testa venga tenuta in linea con le spalle quando si emerge sulla prima bracciata.





La testa troppo alta, infatti crea un eccessivo affondamento del bacino ed un disallineamento dei segmenti corporei. La testa troppo bassa, in questa fase, può portare l'atleta a decelerare, a causa dell'impatto con l'onda creata dall'uscita.

Normalmente la valutazione della partenza si effettua cronometrando il tempo di passaggio della testa ai 15 metri dopo il "via". Questa misura, però, non è del tutto indicativa della validità della partenza stessa. Oltre al tempo, si deve considerare anche la velocità

con cui l'atleta passa ai 15 metri. Il *break-out* deve essere effettuato alla velocità di gara. Si deve iniziare a nuotare in superficie solo quando si raggiunge la giusta velocità. Per questo motivo gli atleti devono sapere esattamente quante battute di gambe delfino devono effettuare prima di uscire e si devono allenare per affrontare con la massima sicurezza tutte le differenti situazioni di gara.

Per evitare di perdere l'efficacia del colpo di gambe nel *break-out*, i **rani- sti** devono prestare la massima atten-

zione al **timing**. Dovranno mantenere le gambe distese dietro durante tutta la prima parte del recupero delle braccia, durante la passata subacquea. Il recupero delle gambe deve iniziare quando le mani sono all'altezza delle spalle, in modo che la spinta delle gambe venga effettuata quando le braccia sono quasi completamente distese. Questo è il momento in cui l'atleta rompe la superficie dell'acqua e inizia, senza alcuna interruzione, a nuotare alla velocità di gara.

## LE FASI DELLA PARTENZA "DAL BASSO"

### LA PREPARAZIONE

La partenza del dorso segue le stesse leggi della fisica della partenza degli altri stili, con la sola differenza che, in questo stile, si parte con i piedi pressappoco sulla superficie dell'acqua anziché ad una altezza di circa 70 cm.

Alcuni atleti tengono i piedi leggermente più in alto, altri esattamente alla stessa altezza o sotto la superficie dell'acqua.

L'altezza dei piedi è una scelta individuale, agevolata dalla possibilità di usare l'appoggio (*device o wedge*) che viene fornito attualmente nelle gare di interesse nazionale ed internazionale.

Al segnale di "**a posto**" (*take your marks*), l'atleta si posiziona con i piedi sul *device* e le mani sull'amaniglia, la testa in linea con il dorso o leggermente iperestesa, e solleva il sedere quanto più possibile in alto, sopra o leggermente sotto la superficie.

Alcuni atleti si sollevano maggiormente, altri meno.

Per avere il massimo vantaggio dall'uso del *device*, si sconsiglia di tenere le spalle più lontane del bacino dalla parete (posizione che alcuni atleti assumono senza *device*, per evitare di scivolare in partenza).

L'angolo del dorso può variare secondo le preferenze individuali.

Per avere la massima efficacia nella spinta, si consiglia di tenere i piedi alla larghezza dei fianchi, evitando eccessivi avvicinamenti o allontanamenti.

### LO STACCO E IL VOLO

Per avere una spinta esplosiva, l'atleta deve sfruttare l'accoppiamento dell'azione della **testa**, delle **braccia** e delle **gambe**. L'azione della **testa** può aggiungere potenza allo stacco, se effettuata correttamente.

L'atleta deve tenere la testa in linea con il dorso sia in preparazione allo stacco che all'ingresso in acqua.

Al "via" alcuni atleti preferiscono spingere velocemente la testa indietro per sfruttarne il movimento, ma devono riportarla tra le braccia e in linea con il dorso nell'entrata. Altri la mantengono in linea durante tutta la parte aerea della partenza. Non riportare la testa in linea può far affondare eccessivamente l'atleta, nell'ingresso, costringendolo ad effettuare una traiettoria più lunga per riemergere. Il volo deve essere più "teso" possibile, in quanto un eccessivo arco lombare può comprometterne la lunghezza.

L'azione degli **arti superiori**, abbinata a quella della testa, è fondamentale per imprimere **energia cinetica** al corpo e determina la traiettoria del volo.

Per sfruttare questa situazione al massimo, alcuni atleti riportano rapidamente le braccia indietro, tenendole tese; devono, però, fare attenzione a tenerle più larghe delle spalle, iperestendendo la schiena e sovrapporre nella posizione "a freccia" nell'entrata. Altri preferiscono fletterle e distenderle rapidamente dietro, per assicurarsi un perfetto *streamline* prima di rompere la superficie dell'acqua, sacrificando leggermente la potenza. Le mani che si separano all'entrata in acqua fanno aumentare esponenzialmente il *drag*.

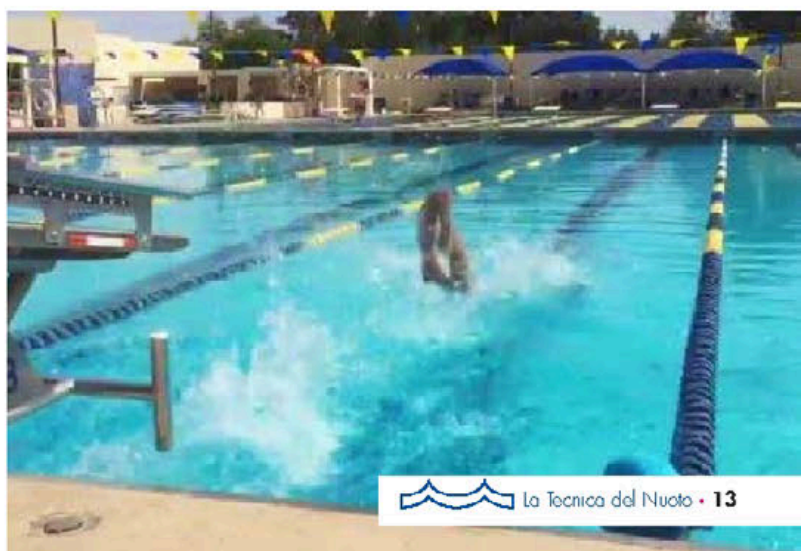
La terza azione che deve essere in "accoppiamento" con quella della testa e delle braccia è il **calcio dei piedi**.

Analogamente a quello che si fa nella partenza da fuori, spingersi verso dietro e verso l'alto e successivamente slanciare le gambe permette di trasferire **energia cinetica** al corpo e una maggior velocità di entrata, a causa della riduzione della resistenza generata dall'ingresso delle gambe.

La sequenza mostra Matt Grevers nella fase aerea della partenza dorso (*fonte You tube Matt Grevers's Backstroke start*).









## ENTRATA E FASE SUBACQUEA

Il dorsista deve effettuare l'**entrata in acqua** più pulita possibile. I piedi devono scivolare dentro, in flessione plantare e con gli alluci in estensione senza sollevare alcuno schizzo. L'angolo d'ingresso deve essere compreso tra 15° e 20°. I nuotatori che arcuano eccessivamente la loro schiena, entrano troppo vicino e in profondità. Questo, molto spesso, è causato dal mantenere troppo a lungo l'iperestensione della schiena e della nuca.

L'atleta entra "tutto nello stesso buco", sollevando le gambe e cercando di mantenersi alla giusta profondità. Quando le gambe cadono in acqua, effettuano la prima battuta verso il basso distese (*down-kick*), fungendo da "timone, per regolare la profondità del corpo. La battuta verso l'alto successiva (*up-kick*) deve essere effettuata immediatamente, con una flessione minima del ginocchio e dell'anca. I colpi di gambe diventeranno via via più ampi fino alla emersione.

Durante tutta la fase subacquea, fino all'esecuzione della prima bracciata, l'atleta deve trattenere l'aria nei polmoni e non espellerla gradualmente. Questo accorgimento agevola la riemersione, perché l'aria nei polmoni favorisce il galleggiamento e permette di effettuare una respirazione normale sulla prima bracciata e non un'inalazione troppo lunga, che ridurrebbe il ritmo delle prime bracciate. Usare una **molletta stingingnaso** può aiutare molto il dorsista nella subacquea.

## IL BREAK-OUT

Nel *break-out* è molto importante avere un ritmo di bracciata elevato e una espirazione esplosiva, seguita da una rapida inspirazione, come nelle successive.

A parte il trattenere l'aria fino all'emersione, il *break-out* nel dorso è molto simile a quello dello stile libero. L'atleta dovrà quindi mantenere la posizione *streamline* fino all'uscita, effettuare la prima bracciata alla giusta profondità sull'ultima gambata delfino e non dopo la transizione dalla gambata delfino a quella dorso. La bracciata deve essere effettuata con la stessa mecca-

ca delle successive, flettendo il gomito ed effettuando una forte spinta verso i piedi. Il passaggio dal colpo di gambe delfino a quello dorso deve avvenire senza soluzione di continuità. Al *break-out* si deve mantenere la testa in linea con il corpo emergendo verso dietro e non verso l'alto. Emergere con un ritmo di bracciata esplosivo, eseguendo delle rapide espirazioni ed inspirazioni, come nelle successive bracciate.

La maggior parte degli atleti emerge sul dorso senza cambiare la posizione del proprio corpo, ma esistono altri due modi degni di menzione, per effettuare il *break-out*: l'uscita con rotazione e il *Tennessee breakout*.

L'uscita con rotazione viene effettuata ruotando il corpo dallo stesso lato dell'arto che esegue la prima bracciata, rimanendo in *streamline*. L'atleta emer-

ge con una rotazione di circa 45° sul fianco della prima bracciata, terminata la quale ruota rapidamente sull'altro fianco. Teoricamente questa uscita dovrebbe garantire una maggior potenza, grazie all'intervento dei grandi muscoli del tronco.

Il *Tennessee breakout*, invece, viene eseguito ruotando sul lato opposto a quello della prima bracciata di circa 45°, mantenendo la posizione di *streamline*. La prima bracciata viene eseguita con il braccio in alto, passando davanti al petto, come nello stile libero. In teoria questa tecnica dovrebbe garantire un'uscita più esplosiva, grazie alla bracciata stile libero, che sviluppa una maggior potenza rispetto a quella del dorso.

La sequenza mostra Kira Toussaint nella sua azione di *breakout*.







# COME GENERA PROPULSIONE IL NUOTATORE?

di Matteo Cortesi <sup>1</sup>, Paola Zamparo <sup>2</sup>, Riccardo Zoboli <sup>1</sup>, Riccardo Olivato <sup>1</sup>, Vittorio Coloretti <sup>3</sup>, Giorgio Gatta <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze per la Qualità della Vita, Università di Bologna; <sup>2</sup> Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e Movimento, Università di Verona; <sup>3</sup> Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione, Università di Bologna

## INTRODUZIONE

La comprensione della tecnica e dei fattori che determinano la prestazione nel nuoto è progredita notevolmente nel corso degli ultimi decenni, prevalentemente grazie allo sviluppo della ricerca scientifica e all'utilizzo della tecnologia. Tuttavia, il mistero su quali siano i meccanismi che generano propulsione nel nuotatore è ancora lontano dall'essere risolto. La nostra conoscenza della propulsione creata dall'uomo in acqua ed il relativo contributo alla prestazione resta ancora a livello rudimentale,

principalmente a causa della complessità della fluidodinamica di forme irregolari come il corpo di un nuotatore in movimento. Cosa esattamente avvenga nell'acqua al passaggio di un nuotatore non è ad oggi misurabile in maniera condivisa nel mondo scientifico. A complicare il tutto si osservano notevoli diversità di azioni motorie tra nuotatore e nuotatore.

Sebbene i principi razionali e teorici sulla propulsione del nuotatore siano generalmente compresi e condivisi, l'interpretazione errata di alcuni elementi chiave può generare una appli-

cazione tecnica non corretta, e talvolta controproducente (Sanders e coll., 2018). Si osserva però come, nonostante la difficoltà di comprensione di tali meccanismi, i nuotatori più abili siano in grado di ottimizzare la tecnica in modo efficace grazie alla loro estrema sensibilità al comportamento dell'acqua. Ci proponiamo in questo articolo di revisionare in modo critico le conoscenze attuali per fornire ai tecnici ed ai nuotatori uno strumento aggiornato sull'argomento.

## COSA SAPPIAMO?

Sappiamo che i miglioramenti nella prestazione natatoria possono essere ottenuti riducendo la resistenza idrodinamica o ottimizzando la propulsione (Zamparo e coll., 2020). Entrambi gli aspetti richiedono la comprensione della dinamica dei flussi attorno al nuotatore. A differenza di altri sport ciclici terrestri come la corsa e il ciclismo, il nuotatore per creare propulsione spinge contro un appoggio non fisso, che viene messo in movimento dai suoi stessi movimenti. La spinta del nuotatore è quindi il risultato della manipolazione del flusso d'acqua per creare una forza di reazione idrodinamica funzionale all'avanzamento. L'acqua si muove attorno al nuotatore con un flusso turbolento e sono necessarie tecniche e metodi sofisticati per misurare le caratteristiche di tali forze risultanti. Se aggiungiamo che il movimento del nuotatore avviene nell'inter-

faccia aria/acqua comprendiamo come questa analisi possa risultare particolarmente complessa. Per poter migliorare la nostra comprensione dovremmo essere capaci, per prima cosa, di misurare con la maggior accuratezza possibile come avvengono tali fenomeni.

L'utilizzo delle telecamere subacquee per l'analisi della propulsione del nuotatore rappresenta una delle tecniche di riferimento (vedi Figura 1, Schleihauf, 1983). Tuttavia, i processi di elaborazione sono estremamente lunghi e dispendiosi a causa della digitalizzazione manuale dovuta alla poca visibilità tipica dell'ambiente acquatico. Fortunatamente, nell'ultimo decennio sono stati sviluppati sensori indossabili (sensori inerziali) che permettono di acquisire variabili temporali e cinematiche del nuotatore (traiettorie, posizioni) con una discreta accuratezza (Cortesi e coll., 2019) e che non richiedono l'utilizzo di telecamere.

Per quanto riguarda le variabili cine-

matiche (misure di forze) sono state proposte tecniche di misurazione diretta tramite sensori di pressione posizionati su mani e piedi, e basati sul differenziale tra palmo e dorso (Takagi e coll., 1999). Tuttavia, i primi sensori prodotti sono poco ecologici ed impattano negativamente sulla tecnica e sulla percezione dell'acqua da parte del nuotatore. Resta da verificare se altri misuratori di pressione proposti in commercio possano garantire affidabilità ed accuratezza (per dettagli vedi capitolo successivo "I nostri esperimenti sulla propulsione del nuotatore").

La propulsione del nuotatore è stata studiata anche grazie a metodologie dirette utilizzando delle celle di carico nel nuoto frenato (Yeater e coll., 1981). Questa tecnica di semplice applicazione e facile all'uso ha come limite che al nuotatore viene richiesto di nuotare senza avanzamento del corpo. Oltre a questi metodi sperimentali sono state sviluppate tecniche di simulazione in-



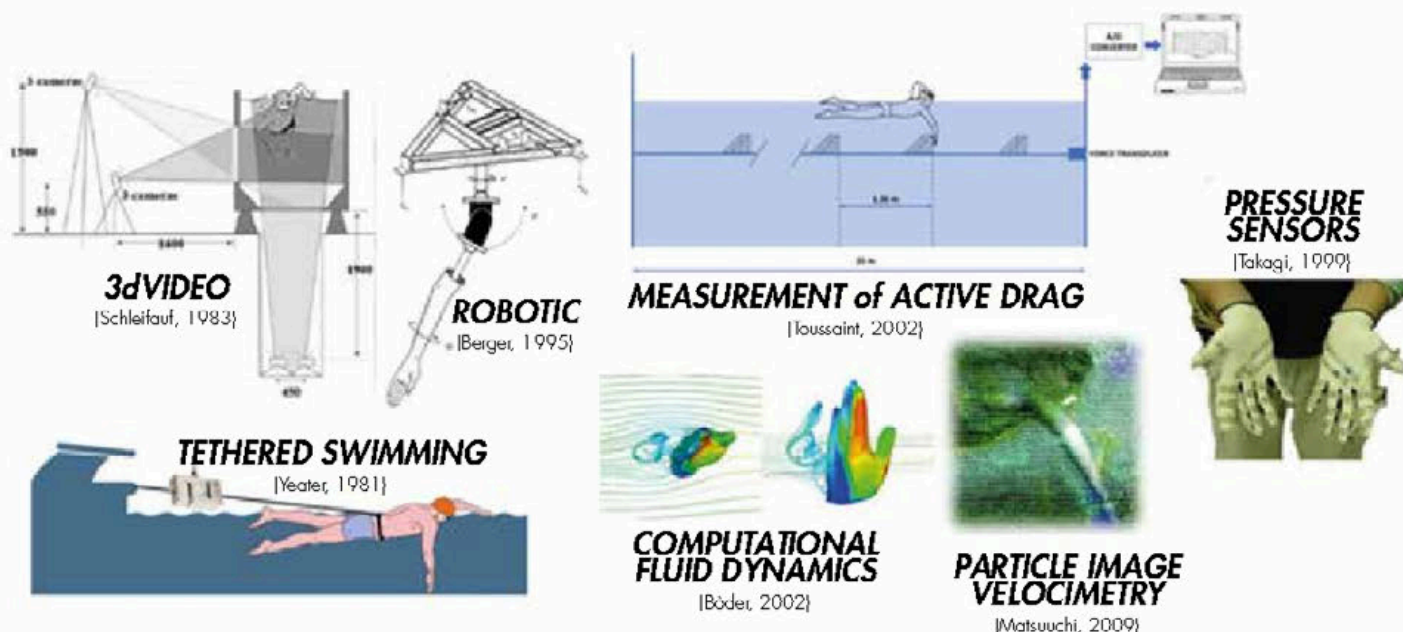


Figura 1. Tecniche proposte in letteratura per la misura della propulsione della mano.

diretta, ottiche o computazionali, che consentono di simulare le caratteristiche del flusso attorno al nuotatore.

La velocimetria ad immagine di particelle (PIV, Matsuuchi e coll., 2009) o la fluidodinamica computazionale (CFD, Bixler e Riewald, 2002) fanno parte di tali metodiche. Tuttavia, queste tecniche numeriche e computazionali dipendono molto dalla costruzione arbitraria del modello di nuotatore e dalle assunzioni teoriche sul flusso, elementi che rappresentano delle grosse limitazioni.

Alcune tecniche di misurazione della propulsione nel nuoto hanno un approccio definito "stazionario" o "quasi stazionario", altre un approccio "non stazionario". Quando un oggetto si muove dentro l'acqua, in base alla sua forma, alla sua superficie, alla sua velocità ed alla sua accelerazione modifica lo stato di flusso che lo circonda. In un regime turbolento il moto delle particelle del fluido avviene in maniera caotica, generando vortici e senza seguire traiettorie ordinate; al contrario, in un regime laminare l'ordine è garantito dalla prevalenza delle forze viscosive di attrito interno rispetto alle forze di inerzia. Nei regimi laminari, l'equilibrio in termini di velocità e accelerazione del flusso permette di misurare con maggiore facilità il moto di un corpo. Le tecniche che partono dal presupposto che il flusso in ogni istante sia in equilibrio (moto laminare) si definiscono appunto approcci "stazionari" o "quasi-stazionari"; tuttavia, i

campi di flusso attorno al nuotatore sono estremamente instabili perché anche il più piccolo cambiamento di direzione della mano produce vortici e instabilità. Per valutare correttamente la forza della mano è quindi necessario conoscere le proprietà instabili determinate dalla dinamica dei vortici poiché la presenza di turbolenze modifica la forza totale agente sulla mano. Per tenere conto di queste condizioni di instabilità si utilizzano approcci "non stazionari" (Matsuuchi e coll., 2009). Tra questi vi sono i metodi computazionali e ottici, basati però su simulazioni. Ad oggi, le uniche tecnologie "non stazionarie" che utilizzano metodi diretti per misurare la forza esercitata dalla mano durante il nuoto sono i sensori di pressione.

Sembra quindi che la combinazione di sensori indossabili, video-analisi e tecniche computazionali possa fornire un quadro più completo delle forze in gioco e quindi spiegare meglio i meccanismi su cui si basa la propulsione nel nuoto. In particolare l'utilizzo dei sensori di pressione consente di ottenere un feedback rapido ed in tempo reale per identificare alcune importanti caratteristiche della propulsione, come le asimmetrie (Santos e coll., 2021). Inoltre questi sensori hanno un disturbo ridotto sui movimenti naturali del nuotatore. Sicuramente oggi sembra più vicino il momento in cui sarà possibile misurare il flusso attorno ad un nuotatore in movimento, grazie all'introduzione di nuove e più accurate tecniche

di misurazione. Tuttavia, è probabile che la definizione di linee guida specifiche riguardanti la tecnica ottimale per ciascun nuotatore sia ancora lontana a venire.

## MECCANISMI DI GENERAZIONE DELLA PROPULSIONE NEL NUOTATORE

Sappiamo che forze propulsive sono determinate da un'azione coordinata degli arti superiori e inferiori e sono applicate dal sistema muscolare per vincere la resistenza meccanica offerta dall'acqua. Ad oggi, la maggior parte degli studi sulla biomeccanica del nuotatore si è concentrata sulla propulsione delle mani. Oltre il 90% della spinta degli arti superiori è infatti prodotta dall'azione della mano, seguita dal contributo dell'avambraccio e della parte superiore del braccio (Takagi e coll., 2021). Il contributo degli altri segmenti corporei è quello di consentire alla mano di muoversi attraverso un percorso che massimizza la propulsione senza disturbare l'allineamento del corpo. La capacità della mano di generare appoggi svolge, anche se in gradi diversi, un ruolo chiave nella propulsione globale di tutte le tecniche natatorie (van Houwelingen e coll., 2017). Per questo motivo l'azione della mano ha ricevuto, soprattutto in questi ultimi vent'anni, una notevole attenzione da parte dei ricercatori.

Prima del 1968 i tecnici pensavano





Figura 2. Formazione di vortici sui bordi laterali della mano (tratta e tradotta da Soh e Sanders, 2021).

che la mano dovesse entrare in acqua “sopra la testa” e poi effettuare una trazione all'indietro lungo una linea retta, con il palmo orientato perpendicolarmente alla linea di movimento (Colwin, 1992). Secondo questo approccio, che ha molti elementi logici e razionali, massimizzare la superficie di impatto della mano consente di ottimizzare anche la massa d'acqua spostata (in base al secondo principio della dinamica). Secondo questo approccio il nuotatore sfrutta principalmente le forze di drag e, anche se attorno alla mano si genera un flusso turbolento, non si ritiene possibile sfruttare altre componenti della forza (ad esempio la portanza: le forze di lift).

In opposizione a questa veduta, alcuni esperimenti provano successivamente che la mano, per creare propulsione, necessita di appoggiarsi su “acqua ferma” (Counsilman, 1977). Da qui il concetto che i buoni nuotatori siano “scullers” ovvero rematori, ed utilizzino una serie di sweeps (remate) laterali attraverso piccoli angoli di orientamento della mano per generare forze di lift. Queste forze sarebbero in grado di costituire il maggior contributo alla forza propulsiva. In presenza di forze di lift, la mano si solleva verso il dorso e questo migliorerebbe la tenuta della mano nel suo movimento nella direzione del palmo. Tale maggior tenuta è conseguenza di un gradiente pressorio tra palmo e dorso, causato dalla formazione di un flusso laminare attorno alla mano. Il flusso laminare può essere creato solo inclinando o spostando lateralmente la mano rispetto alla sua traiettoria rettilinea antero-posteriore. Questo concetto può essere compre-

so pensando a cosa succede quando si sporge la mano fuori dal finestrino di un'auto in movimento: con il palmo perpendicolare al terreno, se si ruota la mano in modo che il pollice sia più alto del mignolo la mano viene spinta verso l'alto. In questo caso la mano si comporta come una piccola ala, ed il sollevamento è dovuto alla mino-

re pressione presente sul dorso della mano rispetto al palmo.

Una ulteriore comprensione di questi meccanismi si è avuta osservando la dinamica di flusso attorno alla mano in funzione della sua traiettoria e del suo orientamento (Takagi e coll., 2016). L'ipotesi più recente è che la mano, quando passa attraverso l'acqua, generi

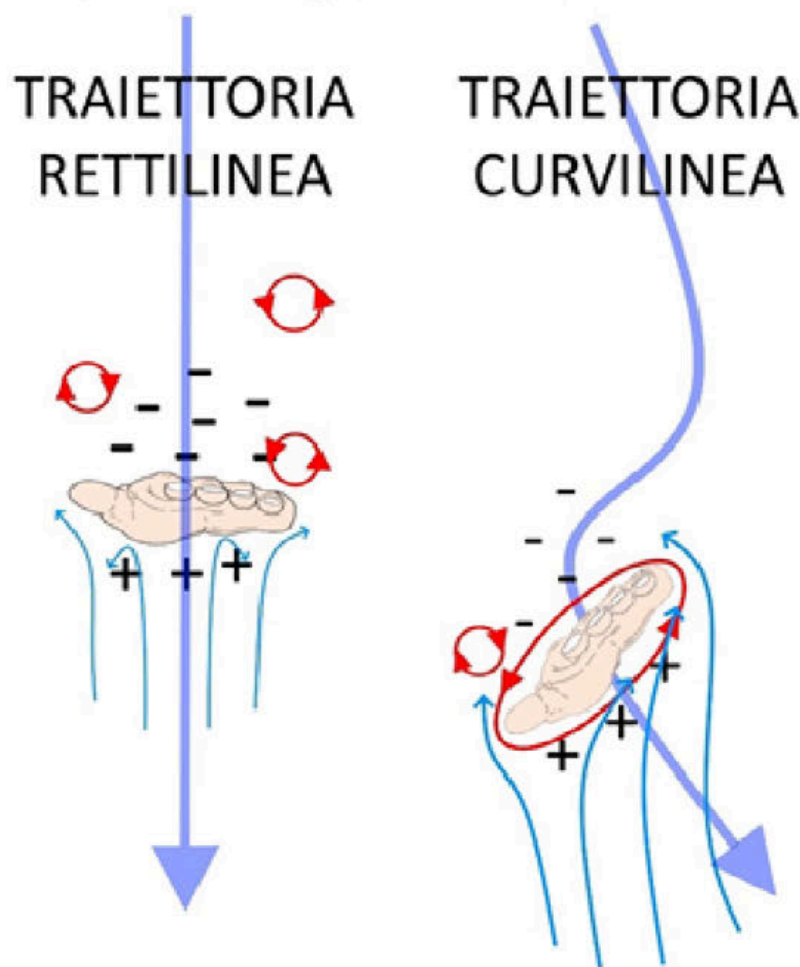


Figura 3. Dinamiche di flusso attorno alla mano in funzione della traiettoria utilizzata (a “T” o a “S”). La direzione di spostamento della mano è indicata da linee viola. I segni + e - indicano la pressione attorno alla mano (positiva o negativa). La direzione di flusso è evidenziata dalle linee azzurre. In rosso i vortici generati.



dei vortici di flusso sia in senso orario che antiorario (Karman vortex) alternativamente sui lati della mano, ovvero ai bordi del mignolo e del pollice (vedi Figura 2). Un vortice in senso orario viene generato nel bordo laterale della mano quando la mano si muove con traiettorie rettilinee, con il palmo perpendicolare al suo asse di movimento, come nella traiettoria a forma di "I". Al contrario, se la mano si inclina sul

lato e il palmo non rimane perpendicolare al suo avanzamento, come nelle traiettorie curvilinee, si attiva un vortice che ruota attorno alla mano in senso opposto (antiorario).

Questo diminuisce la pressione sul dorso della mano e comporta un aumento della portanza (vedi Figura 3).

I ricercatori hanno ampiamente discusso se sia la resistenza (forze di drag) o la portanza (forze di lift) a prevalere

nel generare propulsione. Questo dibattito era inizialmente di natura teorica ma con l'avvento di sistemi per la stima e la misura delle forze applicate a livello della mano si è trasformato in un dibattito empirico. Finora sono stati condotti diversi studi per valutare l'influenza della velocità, dell'accelerazione e dell'orientamento della mano sulle forze di drag e lift.

## QUINDI, COSA DEVE FARE IL NUOTATORE PER CREARE SPINTA?

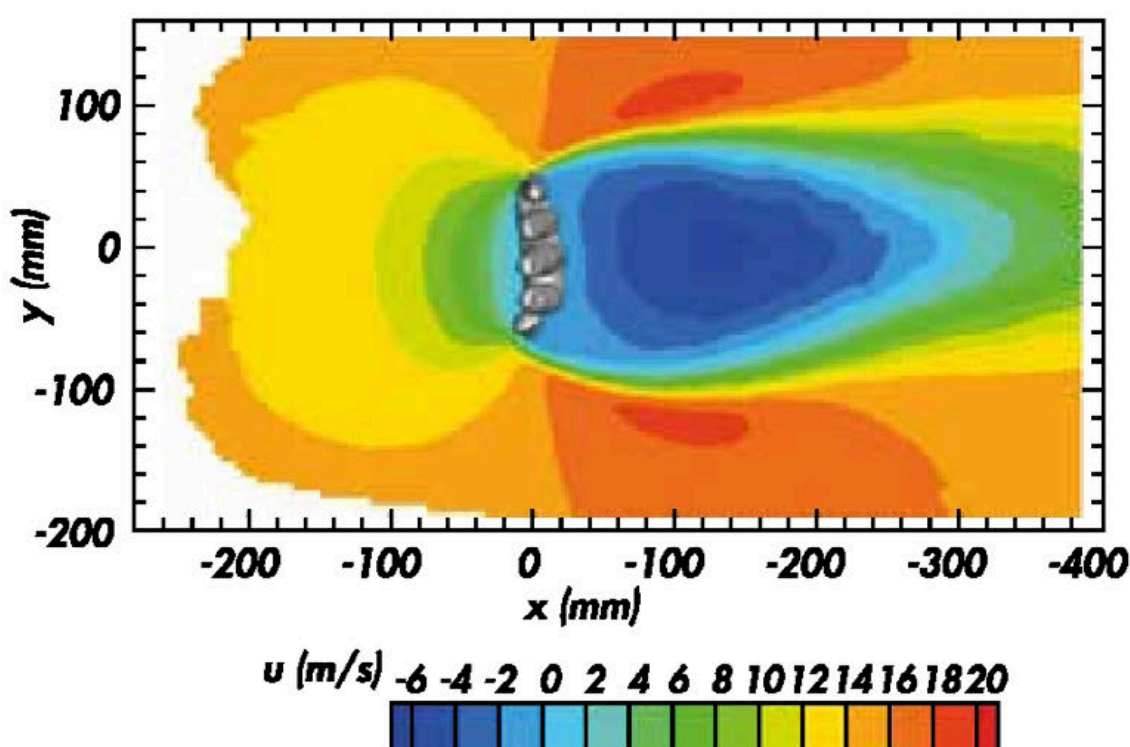
L'iniziale mancanza di studi in questo ambito potrebbe spiegare le opinioni contrastanti espresse da allenatori e ricercatori sul fatto che i nuotatori debbano usare una trazione rettilinea (bracciata a forma di "I") o una trazione curvilinea (a forma di "S"). Secondo Counsilman (1968) la maggioranza dei nuotatori esperti utilizza una traiettoria curvilinea. Al contrario, secondo Maglischo (1985) e Wei (2014) la traiettoria rettilinea è la più efficace. Colwin (1992) riporta che lo schema di trazione corretto è quello curvilineo mentre il percorso ad "I" è poco propulsivo. Soh e Sanders (2021) osservano che tutti i componenti della 4x200 Olimpica di Londra 2012 (Ryan Lochte, Conor Dwyer, Ricky Berens e Michael Phelps), così come il vincitore dei 100m stile libero (Nathan Adrian) hanno utilizzato una trazione di tipo curvilineo. Nell'ultimo decennio, molti allenatori dei nuotatori d'élite sostengono la maggiore efficacia della trazione a "I"; "il nuotatore deve prendere quanta più acqua possibile e spingerla lungo l'asse del suo corpo" (Wei e coll., 2014). I sostenitori della trazione rettilinea ritengono che la traiettoria curvilinea comporti una forza ri-

sultante della mano minore, poiché il calo delle forze di drag sarebbe maggiore dell'aumento delle forze di lift.

E' curioso però come questo approccio venga messo in discussione da dati recenti, che suggeriscono come una corretta tecnica di nuoto efficace preveda una trazione a traiettoria curvilinea. A riguardo, Soh e Sanders nel 2019 hanno dimostrato empiricamente un concetto "banale": in una trazione della mano in linea retta, l'acqua si muove all'indietro mentre il corpo si muove in avanti. Da tale esperimento è possibile osservare che l'acqua viene accelerata verso la direzione di trazione per produrre propulsione; ciò però avviene non mettendo in movimento una massa d'acqua principalmente attraverso il palmo della mano, come intuibile, bensì coinvolgendo nel movimento anche la massa d'acqua sul

dorso della mano. La massa d'acqua si sposterebbe quindi seguendo il dorso della mano, ed occuperebbe lo spazio lasciato libero dalla mano stessa nella sua direzione di spostamento (vedi Figura 4). Questo fenomeno è dovuto alla tipica viscosità dell'acqua ed ai cambi di pressione attorno alla mano. Ciò solleva curiosità sul fatto che gli allenatori debbano insistere con i loro nuotatori sullo spingere, premere o afferrare l'acqua con le mani o perlomeno sul fatto che i nuotatori possano "sentire" con il palmo la massa dell'acqua che si sposta mentre effettuano la trazione (Soh e Sanders, 2021).

Figura 4. Visualizzazione computazionale del campo di flusso attorno alla mano (tratta da Van den Berg e coll., 2021).





Come conclusione pratica, pertanto, sappiamo che i nuotatori esperti possono beneficiare sia di un percorso della mano a forma di “S” che a forma di “I” (Sanders, Takagi, Vilas-Boas, 2021). Simulazioni condotte da Takagi e coll. (2016) hanno dimostrato che la trazione rettilinea può essere più adatta per gli sprint poiché a velocità elevata della mano produce maggiori forze. Al contrario la trazione curvilinea produce forze minori, ma con una minore perdita di energia; la traiettoria ad “S” può essere quindi vantaggiosa negli eventi di media e lunga distanza. Nakashima e coll. (2012) hanno anche mostrato che una posizione alta del gomito durante l’ingresso e la fase di pre-

sa sia associata alla traiettoria ad “S”. Anche la rotazione interna della spalla è maggiore nella trazione curvilinea rispetto a quella rettilinea (Payton e coll., 1999). Infatti, un maggiore rollio della spalla genera un percorso curvilineo della mano, ed in parte spiega il maggior utilizzo della trazione a forma di “S” tra i nuotatori di distanza rispetto alla velocità. Ciò nonostante, non tutti gli sprinter usano uno schema rettilineo. Inoltre coloro che hanno uno schema rettilineo generalmente utilizzano una frequenza di bracciata più alta, mentre chi utilizza uno schema curvilineo è statisticamente più alto ed ha una ampiezza di bracciata maggiore (con frequenze più ridotte).

È logico quindi che il modello di trazione ottimale possa variare tra atleta e atleta in funzione della sua specialità (della distanza che deve affrontare), e possa dipendere anche dalle sue caratteristiche fisiche. I nuotatori devono, poi, ottimizzare le loro traiettorie anche in base alla loro “sensazione dell’acqua” (Vilas-Boas e coll., 2015). È probabile che non tutti gli atleti abbiano sviluppato autonomamente e naturalmente la tecnica ottimale che si adatta alle loro caratteristiche, o alla distanza delle loro gare. Potrebbe esserci un margine di miglioramento attraverso aggiustamenti nella tecnica, inclusa la messa a punto del percorso ideale della mano

### I NOSTRI ESPERIMENTI SULLA PROPULSIONE DEL NUOTATORE

Nei laboratori di biomeccanica del nuoto dell’Università di Bologna abbiamo indagato gli effetti idrodinamici della spinta della mano attraverso dei sensori di pressione che influenzano

solo minimamente il movimento naturale dell’atleta.

I sensori di pressione per la misura della propulsione della mano proposti ad oggi in letteratura impattano in maniera importante sulla tecnica del nuotatore ed hanno quindi una bassa ecologia (vedi Figura 5, Takagi e coll., 1999; Bottoni e coll., 2011; Pereira e

coll., 2015; Ungerechts e coll., 2016; Tsunokawa e coll., 2018; Homma e coll., 2019). Ma nel nuoto si può studiare il movimento in condizioni naturali, senza modificare la percezione all’acqua degli atleti eliminando i cavi (tecnologie wireless) e riducendo al minimo gli ingombri ed i pesi (< di 4 cm<sup>2</sup> e < di 25 g).



*Figura 5. Sensori di pressione proposti ad oggi in letteratura per la misurazione della propulsione delle mani nel nuotatore.*



Ad oggi in commercio esistono due modelli di sensori indossabili che valutano la propulsione della mano del nuotatore attraverso meccanismi differenti. I sensori di pressione Seal (Platysens, Hong Kong) sono costituiti da un bracciale che circonda la mano e che integra un sensore di pressione (uniassiale) sul palmo e uno sul dorso. Tale dispositivo registra la pressione (variabili cinetiche) sia sul palmo che sul dorso della mano del nuotatore ad una frequenza di campionamento di 50 Hz. Calcolando il valore istantaneo del differenziale di pressione tra i due sensori è possibile eliminare il fattore confondente dovuto alla pressione idrostatica, che si modifica durante la traiettoria della mano in base alla profondità raggiunta. Questa forza, infatti, si somma alla forza che riesce a generare la mano con la sua trazione.

I sensori inerziali triassiali Smartpaddle (Trainsense, Finland) sono invece composti da un unico dispositivo posizionato sul palmo della mano che integra al suo interno un accelerometro, un magnetometro ed un giroscopio. Tale dispositivo registra variabili cinematiche (accelerazione lineare nel caso dell'accelerometro, posizione del nord magnetico nel caso del magnetometro e velocità angolare nel caso del giroscopio) ad una frequenza di campionamento di 25 Hz. Attraverso l'integrazione di questi segnali grezzi, il software Smartpaddle stima variabili cinematiche quali velocità e posizione, e variabili cinetiche quali la forza. L'analisi sincronizzata del segnale di posizione della mano con quello di forza consente di analizzare le componenti (verticale, orizzontale, laterale) della forza risultante. Studi recenti dimostrano l'elevata accuratezza degli algoritmi che stimano le variabili temporali della mano attraverso i sensori inerziali (Cortesi e coll., 2021; Hamidi e coll., 2021) ma consigliano cautela sulle stime di forza derivanti dall'integrazioni dei segnali grezzi (Guignard e coll., 2017) e rilevano l'importanza del corretto posizionamento dei sensori in funzione delle variabili da analizzare (Shell e coll., 2021). In particolare, ad oggi nessuno studio scientifico ha dimostrato la validità dei sensori inerziali per l'analisi del piano di orientamento

*Figura 6. I due modelli di sensori indossabili analizzati nei nostri laboratori per la misura della propulsione della mano nel nuotatore (Smartpaddle sulla sinistra e Seal sulla destra).*



della mano durante la sua traiettoria o dei parametri cinetici (dati di pressione e di forza, vedi Figura 6).

Esportando i dati grezzi di pressione dal software Seal, o modificando le equazioni per la stima della forza a partire dai dati del software Smartpaddle, abbiamo calcolato per entrambi i sensori la forza istantanea della mano durante una prova massimale di 15 s nel nuoto (totalmente) frenato, mentre gli atleti nuotavano a stile libero con le sole braccia (le gambe bloccate e sostenute da un galleggiante). Conoscendo la superficie della mano, precedentemente calibrata su carta millimetrata e tracciata tramite software, ed assumendo che tale superficie sia quella che utilizza il nuotatore per creare propulsione con la mano, la forza della mano ( $F$ ) può essere calcolata dal prodotto tra la pressione idrodinamica ( $p$ ) e la superficie della mano ( $A$ ) ( $p = F / A$  e quindi  $F = p \cdot A$ ). Attraverso i sensori di pressione è poi possibile, conoscendo la lunghezza del braccio in azione subacquea ( $L$ ) e misurando la velocità angolare della mano ( $w$ , tramite telecamera subacquea), calcolare la potenza espressa ( $P$ ) a livello della mano) in ciascun ciclo ( $P = F \cdot L \cdot w$ , Zamparo e coll., 2005).

Per comprendere la validità dei dispositivi indossabili, abbiamo inizialmente verificato la loro affidabilità, ovvero la ripetibilità delle misure. In particolare, abbiamo misurato quanto la forza istantanea fosse ripetibile in 10 cicli di bracciata massimali durante una prova

di nuoto completamente frenato (solo bracciata). Presentiamo qui i risultati preliminari di un sotto-campione di 4 nuotatori (stile libero) di livello nazionale, facenti parte di una sperimentazione ad oggi in fase di scrittura per la sottomissione ad una rivista scientifica del settore e presentati al XII Congresso della Società Italiana di Scienze Motorie e Sportive (ottobre 2021).

La Figura 7 mostra come il segnale di forza istantanea ricavato da entrambi i dispositivi sia ben ripetibile nel tempo. Le linee sottili addensate attorno alle forze medie di Seal (linea grossa nera) e di Smartpaddle (linea grossa verde) indicano una buona sovrapposizione del profilo forza/tempo nei 10 cicli. Il coefficiente di variazione interclasse ( $r$ ), l'indicatore statistico utilizzato per misurare l'affidabilità test-retest, è in tutte le prove  $> 0.95$ , evidenziando una correlazione quasi perfetta tra i profili (in questo caso  $r = 1.0$ ). La minima variabilità visibile nel grafico è dovuta alla naturale variazione tra un ciclo e l'altro, non essendo questo un gesto simulato meccanicamente.

Ciò che si nota dalla Figura 7 è però una significativa differenza del segnale di forza in valore assoluto tra i sensori (linee spesse verde e nera). Questo è evidente anche confrontando i valori dei due dispositivi con dati già presenti in letteratura e calcolati con sensori di pressione (Kudo e Lee, 2010, linea blu) o tramite fluidodinamica computazionale (Sato e Hino, 2013, linea rossa). Abbiamo quindi comparato i valori di



potenza media calcolata tramite la cella di carico, (considerati qui come “gold standard”, Santos e coll., 2021) con i valori di potenza media calcolati sulla base di dati derivati da entrambi i sensori nella stessa prova. Questo procedimento di comparazione potenze tra le tre tecniche per verificare l'accuratezza di entrambi i dispositivi, quindi valutare se i loro valori siano vicini al valore “reale” (gold standard). I valori di potenza media della cella di carico sono stati calcolati come prodotto tra la forza media della cella di carico e la velocità massima del nuotatore (Gatta e coll., 2016). Non è infatti corretto a livello teorico confrontare i valori di forza, poiché derivano da sistemi che si muovono a velocità differente (la mano per i sensori ed il corpo per la cella di carico).

I valori di forza media ( $\pm$  deviazione standard) erano:  $35.4 \pm 9.7$  (Seal),  $89.9 \pm 14.0$  (Smartpaddle) e  $87.1 \pm 22.6$  N (cella di carico). I valori di potenza media erano:  $83.3 \pm 34.7$  (Seal),  $209.6 \pm 62.5$  (Smartpaddle) e  $126.3 \pm 46.0$  W (cella di carico).

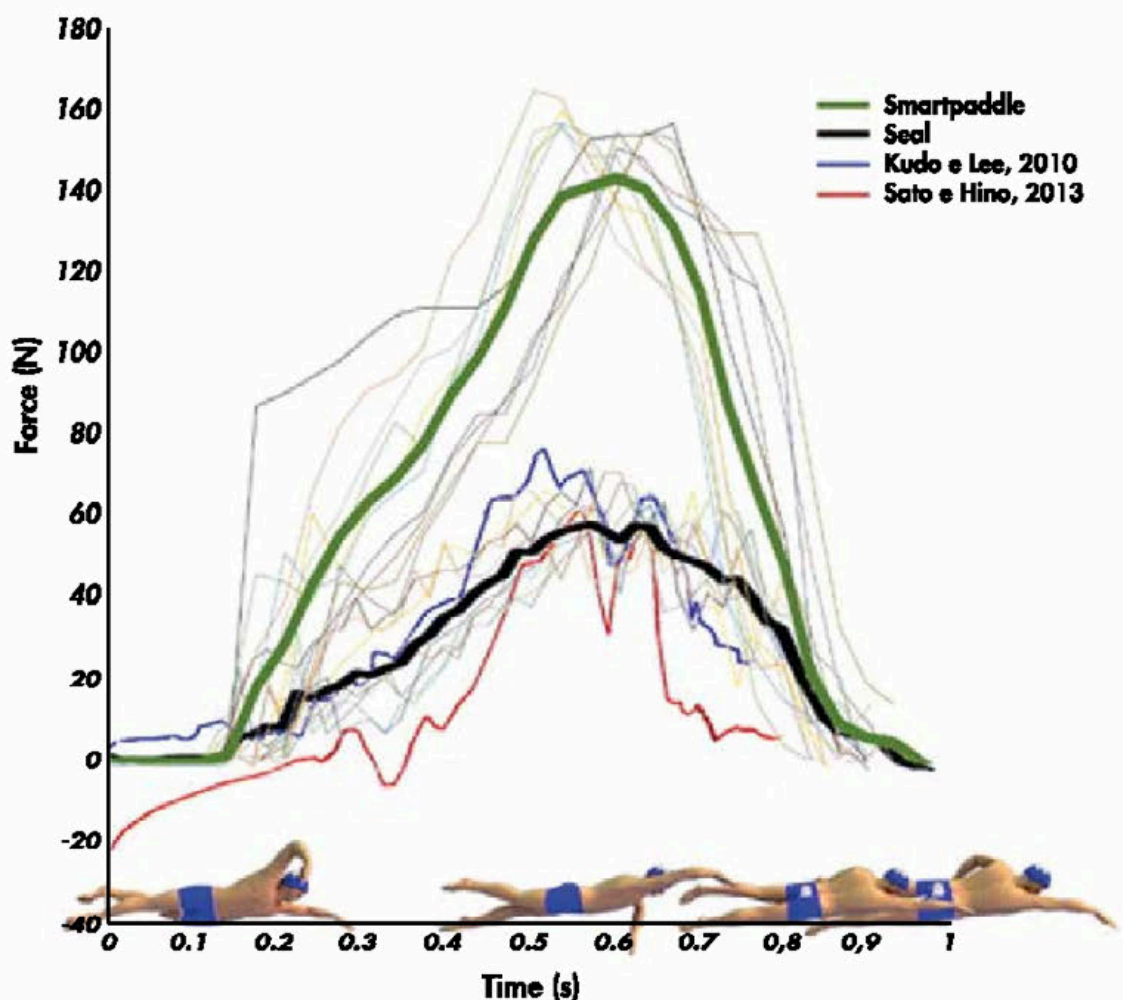
Calcolando la correlazione statistica tra i sensori e la cella di carico per la potenza media osserviamo valori statisticamente alti, sia per Seal vs cella di carico ( $r = 0.71$ ) che per Smartpaddle vs cella di carico ( $r = 0.76$ ). Una correlazione tra valori significa che quando il segnale “reale” aumenta o diminuisce, aumenta o diminuisce anche il segnale rilevato dai sensori. Ma questo non significa che il valore del segnale sia lo stesso. Infatti, come è intuibile dalla figura 7 e dai valori di potenza media sopra riportati, la differenza tra Seal e Smartpaddle è significativa, nonostante le similitudini nel profilo forza/tempo. La differenza media in potenza tra Seal e Smartpaddle (il residuo medio) è di 126.4 W e la radice quadrata dell'errore medio (RMSE, indicatore di varianza interna tra i segnali) è di 64 W. Questi dati confermano come i dispositivi Seal e Smartpaddle misurino la variabilità dello stesso fenomeno, fortemente associata al valore reale, ma riportino valori assoluti significativamente differenti. Rispetto alla potenza misurata con gold standard, Seal

ha un residuo medio di 3.8 W ed un RMSE di 7 W, Smartpaddle ha un residuo medio di 122.6 W ed un RMSE di 83.4 W. I risultati di accuratezza del dispositivo Seal, oltre ad essere più vicini al valore reale, sono maggiormente coerenti con i dati di letteratura: la revisione di Santos ed altri (2021) mostra come gli studi con sensori di pressione riportino un range di forza della mano variabile tra 27 e 55 N, range in cui ricadono i risultati di Seal ma non quelli di Smartpaddle.

Tale revisione evidenzia inoltre come lo stesso fenomeno (forza degli arti superiori del nuotatore), se misurato con cella di carico, mostri valori di forza maggiori rispetto alla misura con sensori di pressione. Il contributo dell'avambraccio e del braccio potrebbe essere la causa di tale non coerenza delle due tecniche di misura, poiché i sensori di pressione analizzano la sola forza delle mani.

Seal e Smartpaddle sono quindi entrambi affidabili, ovvero misurano la variabilità dello stesso fenomeno. In termini di accuratezza e precisione,

*Figura 7. Profilo medio forza/tempo della mano destra su 10 cicli misurato con Seal (linea nera) e Smartpaddle (linea verde). Le linee colorate sottili a fianco alle linee verde e nera sono i profili dei 10 cicli sovrapposti. In figura si nota il confronto con risultati già pubblicati in letteratura (Kudo e Lee 2010 linea blu; Sato e Hino 2013 linea rossa).*





Smartpaddle sembra sovrastimare significativamente il valore reale, mentre i sensori Seal sembrano essere più accurati, anche rispetto alla letteratura di riferimento. Entrambi i dispositivi hanno, comunque, il vantaggio della facilità d'uso e del basso impatto sulla tecnica del nuotatore, rispetto a quanto proposto fino ad ora in letteratura e sul mercato. Questi due strumenti, se correttamente calibrati e tarati, possono supportare l'allenatore nella comprensione della propulsione dei propri atleti. In particolare, oltre a caratterizzare il profilo forza/tempo di un atleta, sono in grado di monitorare: i) eventuali asimmetrie di propulsione (si veda in Figura 8a un nuotatore con intensità simile e profilo di propulsione simmetrico tra una mano e l'altra, in Figura 8b un nuotatore con intensità differenti e profilo di propulsione asimmetrici tra una mano e l'altra; e ii) deficit o momenti non propulsivi nella fase subacquea (si veda in Figura 8c un deficit nella fase centrale della propulsione del braccio destro).

Il nostro consiglio è di affidarsi a competenze specifiche nell'utilizzo di tali strumentazioni. I risultati qui proposti derivano infatti da elaborazioni di segnali e non riguardano dati direttamente derivabili dai software specifici delle aziende produttrici, che in alcuni casi non permettono adattamenti a caratteristiche specifiche degli atleti (es. superficie mano). Inoltre, come discusso precedentemente, se le informazioni derivanti da tali dispositivi non sono interpretate correttamente, o utilizzate senza previa calibrazione, possono risultare addirittura controproducenti, inducendo il tecnico a considerazioni errate.

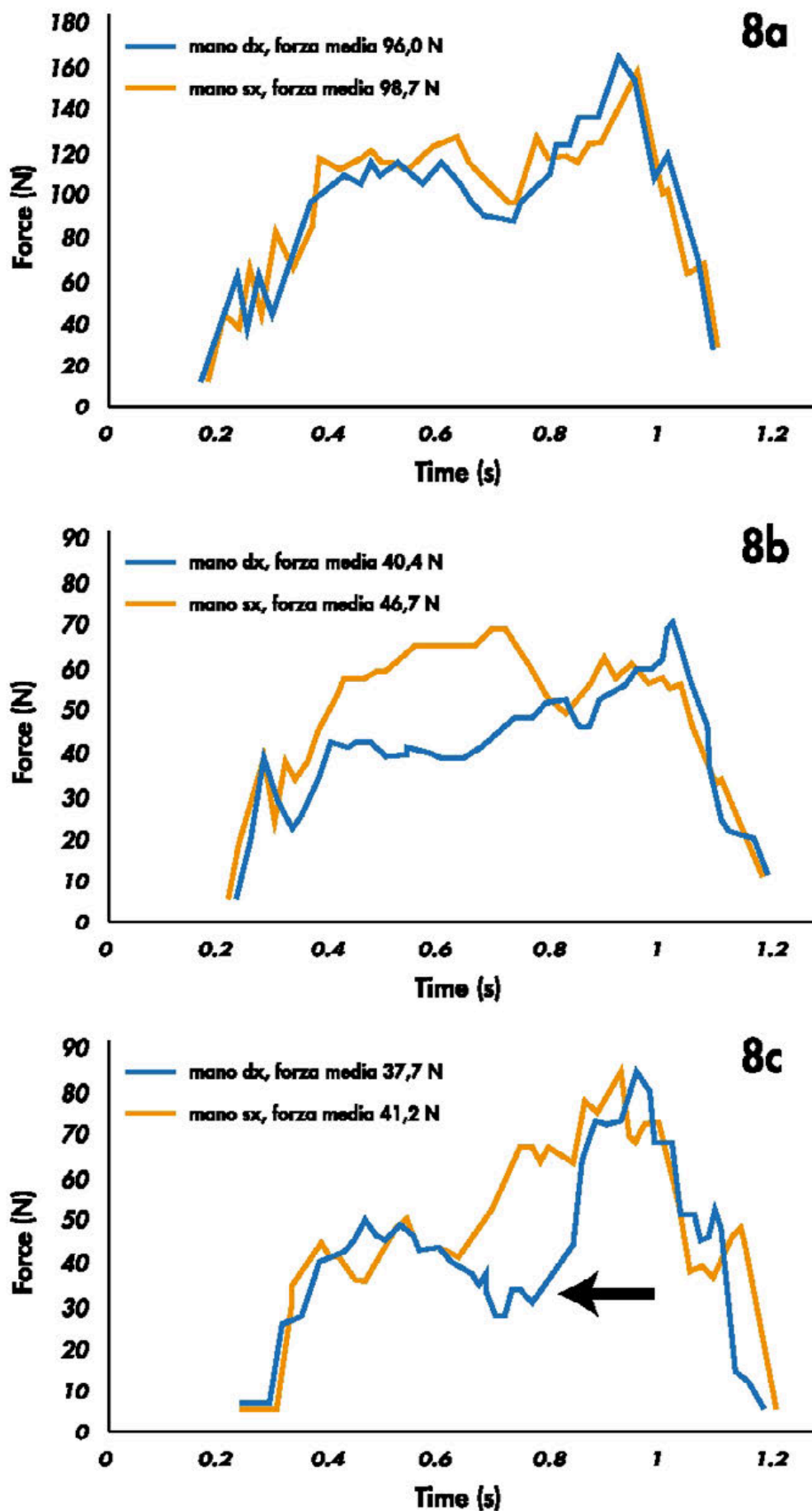


Figura 8. In figura 8a un nuotatore con propulsione simmetrica e intensità simile tra una mano e l'altra; in figura 8b un nuotatore con propulsione asimmetrica e intensità differente tra una mano e l'altra. In figura 8c un nuotatore con un deficit di propulsione nella fase centrale di bracciata destra (freccia grigia).



## BIBLIOGRAFIA

- Berger, M. A., de Groot, G., & Hollander, A. P. (1995). Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. *Journal of Biomechanics*, 28(2), 125-133.
- Bixler, B., & Riewald, S. (2002). Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 35, 713-717.
- Bortoni, A., Lanotte, N., Boatto, P., Bifaretti, S., & Bonifazi, M. (2011). Technical skill differences in stroke propulsion between high level athletes in triathlon and top level swimmers. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(2), 351-362.
- Cortesi, M., Giovanardi, A., Gatta, G., Mangia, A. L., Bartolomei, S., & Fantozzi, S. (2019). Inertial sensors in swimming: Detection of stroke phases through 3D wrist trajectory. *Journal of sports science & medicine*, 18(3), 438.
- Cortesi, M., Di Michele, R., Fantozzi, S., Bartolomei, S., & Gatta, G. (2021). Arm-Stroke Descriptor Variability during 200-m Front Crawl Swimming. *Sensors*, 21(2), 324.
- Colwin C (1992). Swimming into the 21st century. *Human Kinetics Publishers, Champaign*.
- Counsilman JE (1968). The science of swimming. *Prentice Hall, Englewood Cliffs*.
- Counsilman, J. E. (1977). Competitive swimming manual for coaches and swimmers. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall*.
- Homma, M., Okamoto, Y., & Takagi, H. (2019). How do elite artistic swimmers generate fluid forces by hand during sculling motions? *Sports biomechanics*, 1-15.
- Gatta, G., Cortesi, M., & Zamparo, P. (2016). The relationship between power generated by thrust and power to overcome drag in elite short distance swimmers. *PloS One*, 11(9), e0162387.
- Guignard, B., Rouard, A., Chollet, D., & Seifert, L. (2017). Behavioral dynamics in swimming: The appropriate use of inertial measurement units. *Frontiers in Psychology*, 8, 383.
- Hamidi Rad, M., Gremeaux, V., Dadashi, F., & Aminian, K. (2021). A Novel Macro-Micro Approach for Swimming Analysis in Main Swimming Techniques Using IMU Sensors. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 1511.
- Kudo S, Lee M. 2010. Prediction of propulsive force exerted by the hand in swimming. In: Kjendlie PL, Stallman RK, Cabri J, editors. *Biomechanics and medicine in swimming XI. Oslo: Norwegian School of Sport Science*; p. 112-114.
- Maglischo, E. W., & Brennan, C. F. (1985). Swim for the health of it. *Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company*.
- Matsuuchi, K., Miwa, T., Nomura, T., Sakakibara, J., Shintani, H., & Ungerechts, B. E. (2009). Unsteady flow field around a human hand and propulsive force in swimming. *Journal of biomechanics*, 42(1), 42-47.
- Nakashima, M., Maeda, S., Miwa, T., & Ichikawa, H. (2012). Optimizing simulation of the arm stroke in crawl swimming considering muscle strength characteristics of athlete swimmers. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 7(2), 102-117.
- Payton, C., Bartlett, R. M., Baltzopoulos, V., & Coombs, R. (1999). Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, 17(9), 689-696.
- Pereira, G. S., Schut, G. R., Rueschel, C., Roesler, H., & Pereira, S. M. (2015). Propulsive force symmetry generated during butterfly swimming. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 17, 704-712.
- Sanders, R. H., Andersen, J. T., & Takagi, H. (2018). The segmental movements in front crawl swimming. In *Handbook of human motion* (pp. 1703-1717). Springer, Springer Nature.
- Sanders, R. H., Takagi, H., & Vilas-Boas, J. P. (2021). How Technique Modifications in Elite 100m Swimmers Might Improve Front Crawl Performances to Podium Levels: Swimming 'Chariots of Fire'. *Sports Biomechanics*, 1-20.
- Santos, C. C., Marinho, D. A., Neiva, H. P., & Costa, M. J. (2021). Propulsive forces in human competitive swimming: a systematic review on direct assessment methods: Propulsive forces in competitive swimming. *Sports Biomechanics*, 1-21.
- Sato Y, Hino T. 2013. Computational fluid dynamics analysis of hydrodynamic force acting on a swimmer's hand in a swimming competition. *J Sports Sci Med*. 12:679-689.
- Schleithauf, R. E. (1983). Three-Dimensional Analysis of Hand Propulsion in the Sprint Front Crawl Stroke, *Biomechanics and Medicine in Swimming. Human Kinetics Publishers: Champaign*, 173-184.
- Shell, S. J., Clark, B., Broatch, J. R., Slaterry, K., Halson, S. L., & Coutts, A. J. (2021). Is a Head-Worn Inertial Sensor a Valid Tool to Monitor Swimming? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(aop), 1-4.
- Soh, J., & Sanders, R. (2021). The clues are in the flow: how swim propulsion should be interpreted. *Sports biomechanics*, 20(7), 798-814.
- Takagi, H., & Wilson, B. (1999). Calculating hydrodynamic force by using pressure differences in swimming. *Biomechanics and medicine in swimming VIII*, 101-106.
- Takagi, H., Nakashima, M., Sato, Y., Matsuuchi, K., & Sanders, R. H. (2016). Numerical and experimental investigations of human swimming motions. *Journal of Sports Sciences*, 34(16), 1564-1580.
- Takagi, H., Nakashima, M., Sengoku, Y., Tsunokawa, T., Koga, D., Narita, K., Gonjo, T. (2021). How do swimmers control their



- front crawl swimming velocity? Current knowledge and gaps from hydrodynamic perspectives. *Sports Biomechanics*, 1-20.
29. Toussaint, H. M., Van den Berg, C., & Beek, W. J. (2002). "Pumped-up propulsion" during front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(2), 314-319.
  30. Tsunokawa, T., Tsuno, T., Mankyu, H., Takagi, H., & Ogita, F. (2018). The effect of paddles on pressure and force generation at the hand during front crawl. *Human movement science*, 57, 409-416.
  31. Ungerechts, B. E., Cesarini, D., Hamann, M., Ritter, Y., Weidner, S., Haldorn, T., & Hermann, T. (2016). Patterns of flow pressure due to hand-water interaction of skilled breaststroke swimmers—a preliminary study. *Procedia engineering*, 147, 330-335.
  32. Vilas-Boas, J. P., Ramos, R. J., Fernandes, R., Silva, A. J., Rouboa, A. I., Machado, L., Barbosa, T. M., & Marinho, D. (2015). Hydrodynamic analysis of different finger positions in swimming: A computational fluid dynamics approach. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(1), 48-55.
  33. Van den Berg, J., Bazuin, R., Jux, C., Sciacchitano, A., Westerweel, J., & van de Water, W. (2021). The effect of hand posture on swimming efficiency. *Experiments in Fluids*, 62(12), 1-9.
  34. Van Houwelingen, J., Schreven, S., Smeets, J. B., Clercx, H. J., & Beek, P. J. (2017). Effective propulsion in swimming: grasping the hydrodynamics of hand and arm movements. *Journal of applied biomechanics*, 33(1), 87-100.
  35. Wei, T., Mark, R., & Hutchison, S. (2014). The fluid dynamics of competitive swimming. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46, 547-565.
  36. Yeater, R. A., Martin, R. B., White, M. K., & Gilson, K. H. (1981). Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. *Journal of Biomechanics*, 14(8), 527-537.
  37. Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A., & Minetti, A. E. (2005). An energy balance of front crawl. *European journal of applied physiology*, 94(1), 134-144.
  38. Zamparo, P., Cortesi, M., & Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European journal of applied physiology*, 120(1), 41-66.







# UN "TUFFO" CON LA MUTA

di Emanuele Dello Stritto<sup>1</sup>, Claudio Quagliarotti<sup>1</sup>, Matteo Cortesi<sup>2</sup>, Roberto Baldassarre<sup>3</sup>, Giorgio Gatta<sup>2,3</sup>, Marco Bonifazi<sup>3,4</sup>, Paola Zamparo<sup>5</sup>, Maria Francesca Piacentini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli studi di Roma 'Foro Italico', <sup>2</sup> Università di Bologna, <sup>3</sup> Federazione Italiana Nuoto, <sup>4</sup> Università di Siena, <sup>5</sup> Università di Verona

## MUTA: COME È FATTA? REGOLAMENTAZIONE E TIPOLOGIE

La muta è un abbigliamento tecnico sportivo la cui funzione primaria è fornire protezione termica agli atleti<sup>1,2</sup>. Essa è composta principalmente da neoprene, una tipologia di gomma sintetica porosa che contiene piccole bolle di gas, che riduce la perdita di calore garantendo quindi un determinato isolamento termico<sup>3</sup> capace di mantenere stabile la temperatura corporea in acqua dai 12°C ai 29.5°C<sup>2,4</sup>. La muta è stata introdotta per la prima volta in competizioni ufficiali di triathlon nel 1989<sup>5</sup>, mentre solamente dal 2017 il suo utilizzo è permesso anche nelle competizioni ufficiali FINA di nuoto in acque libere<sup>6</sup>. L'utilizzo della muta è

permesso od obbligatorio durante competizioni svolte in acqua fredda (Tabella 1) al fine di prevenire fenomeni di ipotermia negli atleti<sup>7</sup>. I principali modelli di muta permessi sono tre:

1. la muta completa (o full sleeve) che copre la totalità del corpo ad eccezione del volto, mani e piedi;
2. la smanicata lunga (o long sleeveless) molto simile alla full sleeve ma non copre gli arti superiori;
3. la smanicata corta (o short sleeveless) la quale lascia scoperti arti superiori e inferiori.

Lo spessore della muta varia in corri-

spondenza di precise zone anatomiche e dalla singola ditta produttrice, ma da regolamento quest'ultimo non può eccedere i 5mm nelle competizioni di triathlon<sup>5</sup>, e non può essere inferiore ai 3mm nelle competizioni in acque libere<sup>6</sup>. Anche se l'utilizzo della muta nasce per garantire protezione termica, diversi studi hanno evidenziato miglioramenti prestativi che dipendono tuttavia dal tipo di atleta (nuotatore o triatleta élite o non élite) assieme alla sua familiarizzazione con l'utilizzo della muta e dal tipo di muta stesso (completa, smanicata lunga o smanicata corta). Quali sono le motivazioni a questi miglioramenti della prestazione?

Tabella 1 Regolamentazione dell'uso della muta in competizioni ufficiali FINA<sup>6</sup> e WT<sup>5</sup>

| UTILIZZO MUTA           | Competizioni FINA | Competizioni WT >1500m† | Competizioni WT <1500m† |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| OBBLIGATORIO            | <18°C             | <15.9°C                 | <15.9°C                 |
| VIETATO                 | >20°C             | >22°C (>24.6°C*)        | >20°C (>22°C*)          |
| COMPETIZIONE CANCELLATA | <16°C             | <12°C                   | <12°C                   |

\*Riferimenti per gli age group 28. FINA: Federazione Internazionale di nuoto; WT: World Triathlon

## PERCHÉ LA MUTA MIGLIORA LA PRESTAZIONE?

Gli aumenti di prestazione dati dalla muta possono essere spiegati dalle proprietà della stessa, derivanti dal neoprene che si presenta come una gomma sintetica liscia e dalla bassa densità. Di conseguenza, la superficie liscia della muta porta ad un minore attrito di frizione (ovvero una minor resistenza

passiva prodotta dalla viscosità dell'acqua durante lo spostamento), rispetto alla nuotata in costume. Inoltre, la sua bassa densità porta ad una variazione del galleggiamento dinamico, che se ottimizzato può ridurre l'area frontale del nuotatore e di conseguenza anche l'attrito di forma (componente attiva

dell'attrito)<sup>8,9</sup>. La riduzione degli attriti sono infatti inversamente proporzionali alla velocità dell'atleta<sup>8</sup>.

A seguito di questi effetti, nuotare con una muta influenza indirettamente alcuni parametri fisiologici. La  $\dot{V}O_{2\max}$  (velocità cui si raggiunge il massimo consumo di ossigeno) subisce un

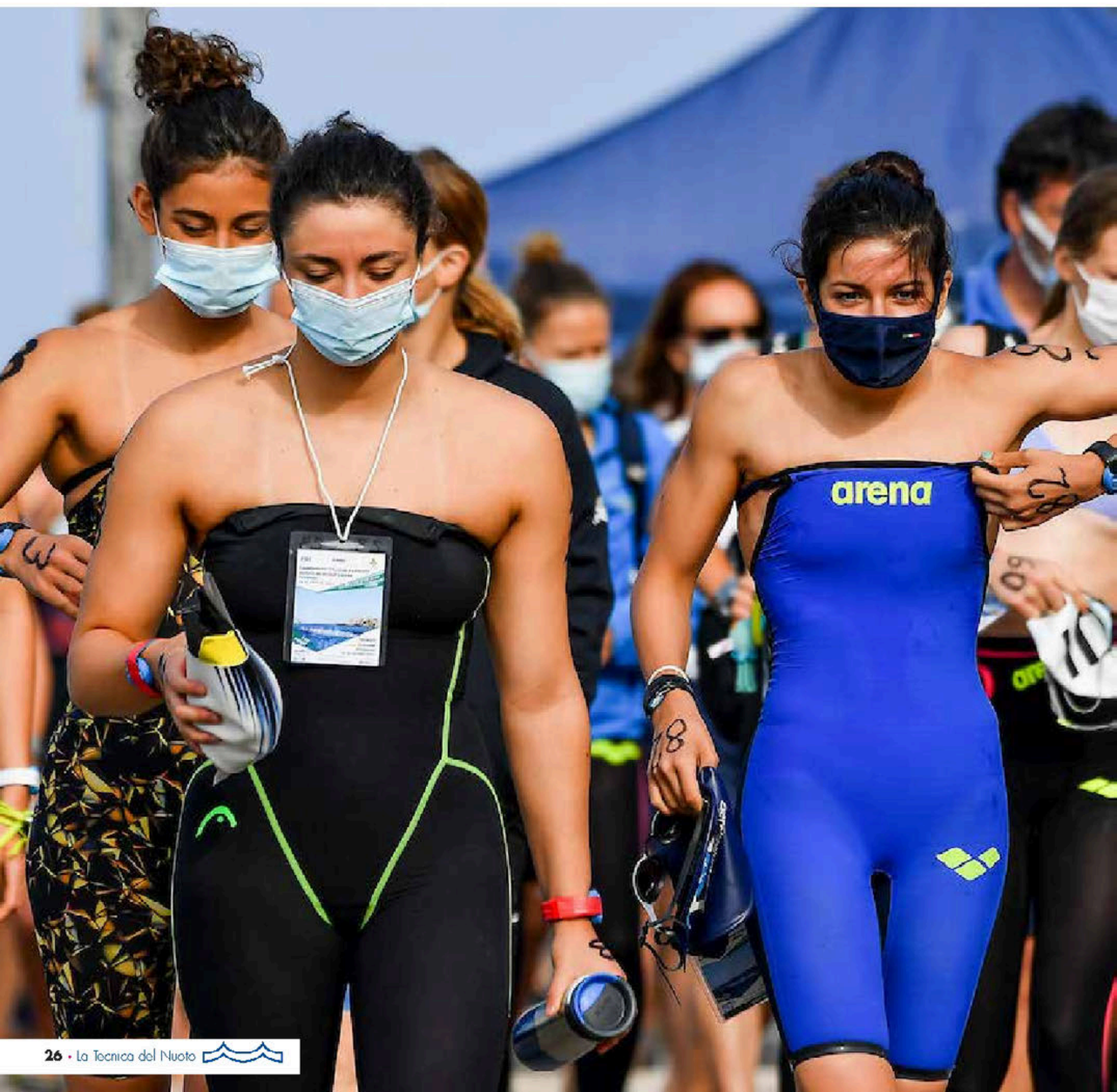




incremento del 5-6%<sup>10,11</sup> con l'utilizzo della muta, così come la velocità in corrispondenza della soglia del lattato (+3.4%)<sup>12</sup>. È stata inoltre evidenziata una diminuzione del costo energetico della nuotata a velocità submassimali<sup>11,13</sup>. Tuttavia, questi benefici non sono stati riscontrati ad intensità superiori, probabilmente perché la velocità raggiunta è tale da generare una spinta idrostatica che minimizza gli effetti che ha la muta sul galleggiamento<sup>10</sup>, in quanto gli arti inferiori vengono mantenuti in posizione orizzontale a velocità superiori di  $1.4 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$ <sup>14</sup>. Alcuni parametri fisiologici (frequenza

cardiaca<sup>15,16</sup>, concentrazione di lattato ematico<sup>13,16</sup> e percezione dello sforzo<sup>9,17,18</sup>) presentano risultati discordanti in letteratura se analizzati nel confronto di prestazione con o senza muta<sup>9,13,15-19</sup>. Queste discordanze sono da attribuire alle "brevi" distanze/tempi (5 minuti<sup>13</sup>, 400m<sup>16,17</sup>) con cui si sono effettuati i test che potrebbero non essere sufficienti ad ottenere differenze tra le condizioni di muta e costume (per informazioni più approfondite rimandiamo all'articolo di revisione della letteratura di Quagliarotti et al.<sup>20</sup>). Difatti, un recentissimo studio ha mostrato come durante un allenamento di 7x200m a

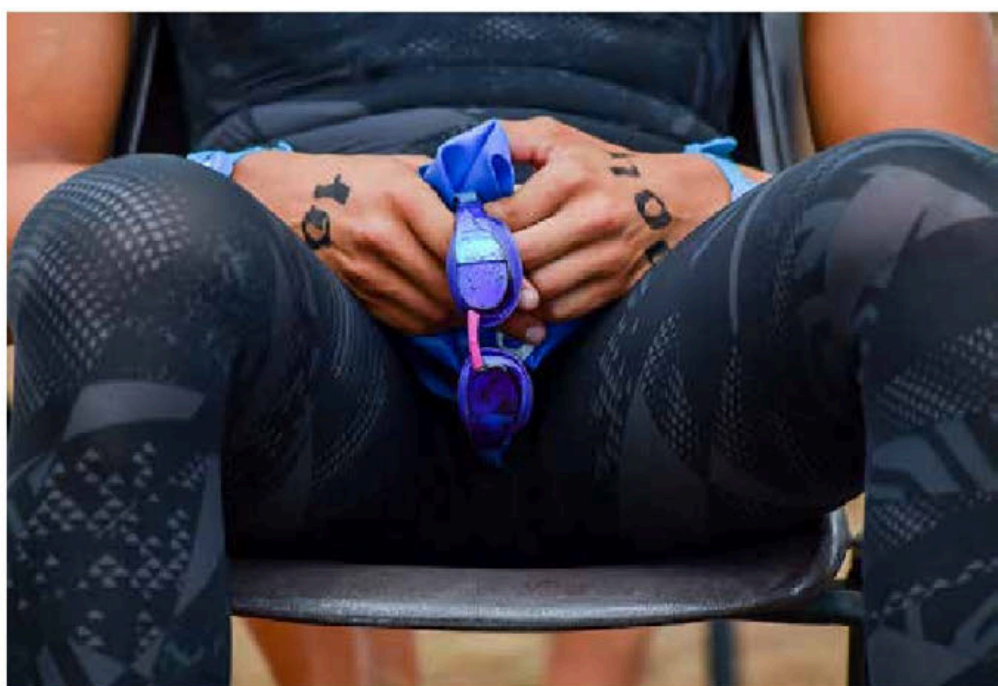
ritmo gara utilizzando la muta, solamente a partire dalla seconda ripetuta la frequenza cardiaca e la percezione dello sforzo diminuiscano, rispetto allo stesso allenamento effettuato in costume<sup>9</sup>. Nonostante gli effetti appena elencati siano sicuramente graditi agli atleti, questi ultimi si mostrano spesso restii al suo utilizzo. Da cosa potrebbe essere dovuto? Una ipotesi potrebbe essere la minor comodità nella nuotata riportata dagli atleti quando utilizzano la muta<sup>15,21</sup>. Il suo utilizzo potrebbe alterare la tecnica di nuotata?





## LA MUTA ALTERA LA TECNICA DI NUOTATA?

Interpretare e sintetizzare la letteratura riguardante gli effetti della muta sulla biomeccanica del nuoto è particolarmente difficoltoso. Difatti, la maggioranza degli studi<sup>16-18,22</sup> ha effettuato dei test su distanze o tempi di nuotata prestabiliti. Tuttavia, un'alterata velocità di spostamento, che come già anticipato è presente quando la muta viene utilizzata su distanze prestabilite rispetto al costume, comporta un effettivo cambiamento nella tecnica di nuotata non deputabile quindi direttamente alla muta stessa. Nei pochi studi effettuati a velocità fissa (ad esempio in vasca ergometrica o richiedendo un passo prestabilito agli atleti) si può notare un differente effetto della muta in base all'intensità di nuotata svolta. A basse intensità viene evidenziato unicamente un aumento della frequenza di bracciata<sup>10</sup>, mentre al contrario ad alte intensità si nota un aumento dell'ampiezza di bracciata e di conseguenza dello stroke index (velocità\*ampiezza bracciata), ma non nella frequenza<sup>23</sup>. Questo risulta essere un effetto estremamente positivo, poiché in test su nuotatori, a parità di velocità di nuoto, atleti più veloci hanno mostrato una maggior lunghezza assieme ad una minor frequenza



rispetto a colleghi più lenti<sup>24</sup>. Inoltre, sempre a pari velocità, una minor frequenza di bracciata è stata associata ad un minor costo energetico<sup>24</sup>, parametro di fondamentale importanza per le discipline di media e lunga durata, come quelle svolte in acque libere. Ciò rende l'utilizzo della muta, ad intensità più elevate, particolarmente proficuo per gli atleti. Tuttavia, poiché la frequenza ed ampiezza di bracciata sono variabili vicendevolmente influenzate (a parità di velocità di spostamento), i risultati della letteratura lasciano ancora alcuni

dubbi sulle effettive modifiche tecniche dovute all'utilizzo della muta. Anche la durata delle singole fasi della bracciata sembrerebbe essere alterata dall'utilizzo della muta<sup>10,23</sup>. In particolare, sembrerebbe che l'utilizzo della muta vada ad aumentare la durata delle fasi di entrata e presa, con una diminuzione della fase di spinta<sup>10,23</sup>. Dalla letteratura è noto che l'azione della gambata è necessaria prevalentemente al mantenimento della posizione orizzontale durante il nuoto a stile libero. Pertanto, considerato che la muta già facilita il manteni-





mento di questa posizione<sup>9,15</sup> il numero di gambate risulta ridotto con l'utilizzo della muta<sup>9</sup>.

Sembra quindi chiaro che la muta abbia degli effetti sulle variabili tecniche della nuotata, le quali hanno un effetto, insieme alle caratteristiche intrinseche del neoprene presentate precedentemente, sul costo energetico e quindi sulla performance. Ma questi effetti sono generalizzabili? Oppure sono dipendenti da variabili individuali (sesso, livello prestativo, composizione corporale e misure antropometriche)?

### LA MUTA HA SEMPRE GLI STESSI EFFETTI?

Gli effetti ottenuti dall'utilizzo della muta fin qui presentati sembrerebbero però essere alterati dal livello prestativo degli atleti e dalla loro familiarità di utilizzo della stessa. In generale, miglioramenti prestativi maggiori sono stati riscontrati nei triatleti piuttosto che nei nuotatori in vasca<sup>15,25</sup>.

I triatleti sono familiari all'utilizzo della muta, contrariamente ai nuotatori in vasca<sup>7,11,16</sup>. È stato ipotizzato che la

muta possa portare incrementi di prestazione più elevati in soggetti più magri e/o meno performanti<sup>25</sup>, profilo che si avvicina più ai triatleti che ai nuotatori.

Sfortunatamente, a causa della sua recentissima introduzione, gli studi sugli effetti della muta nei nuotatori di fondo risultano essere estremamente ristretti, lasciando spazio a studi di comparazione solamente tra triatleti e nuotatori in vasca.

Un'altra variabile da considerare è il modello di muta utilizzato (completa, smanicata lunga o smanicata corta). La scelta migliore sembrerebbe ricadere sulla muta smanicata lunga, la quale ha mostrato, rispetto alla muta completa, un incremento maggiore di prestazione ed una miglior comodità riportata dagli atleti<sup>15,21</sup>, ma con una ragionevole diminuzione di protezione termica dal freddo rispetto alla completa.

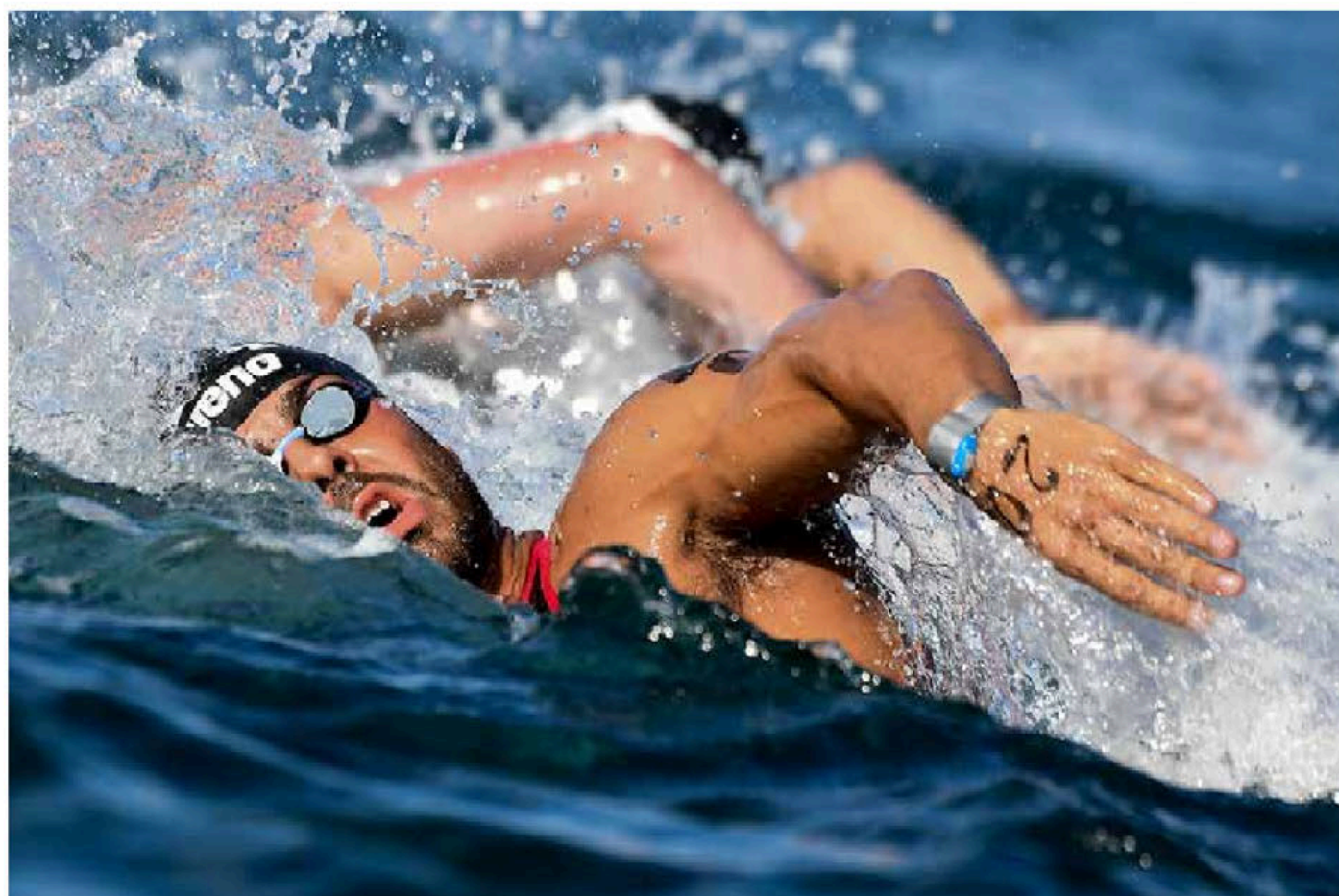
Tuttavia, tutti i dati fino ad ora riportati sono stati raccolti durante test ecologici? Ovvero, i test svolti sono affini con l'attività di nuoto in acque libere in cui la muta può essere utilizzata? E quindi, i dati riportati possono essere attesi in un contesto di competizione reale?

### I RISULTATI PRESENTI IN LETTERATURA SONO APPLICABILI IN UN CONTESTO DI COMPETIZIONE REALE?

Come detto precedentemente, l'utilizzo della muta è possibile (od obbligatorio) solamente in gare in acque libere ed in condizioni di acqua fredda. Tuttavia gli studi che fino ad oggi sono stati effettuati per tentare di valutare gli effetti della muta sulla nuotata sono stati svolti in piscina<sup>10,16,23</sup> o in vasca ergometrica<sup>7,10,11</sup>, e spesso a temperature dell'acqua superiori ai 20°C<sup>11,18,22</sup>, temperatura oltre la quale l'utilizzo della muta è vietato (Tabella 1).

Inoltre, le gare in acque libere si svolgono su distanze considerevoli (dai 750m ai 3,8Km nelle gare di triathlon e dai 2,5km ai 25km nelle gare di nuoto di fondo). Di contro, i test degli studi analizzati sono stati svolti tendenzialmente su distanze "brevi", prevalentemente fino ai 400m (per informazioni più approfondite rimandiamo all'articolo di revisione della letteratura di Quagliarotti et al<sup>20</sup>).

Attualmente solamente uno studio ha

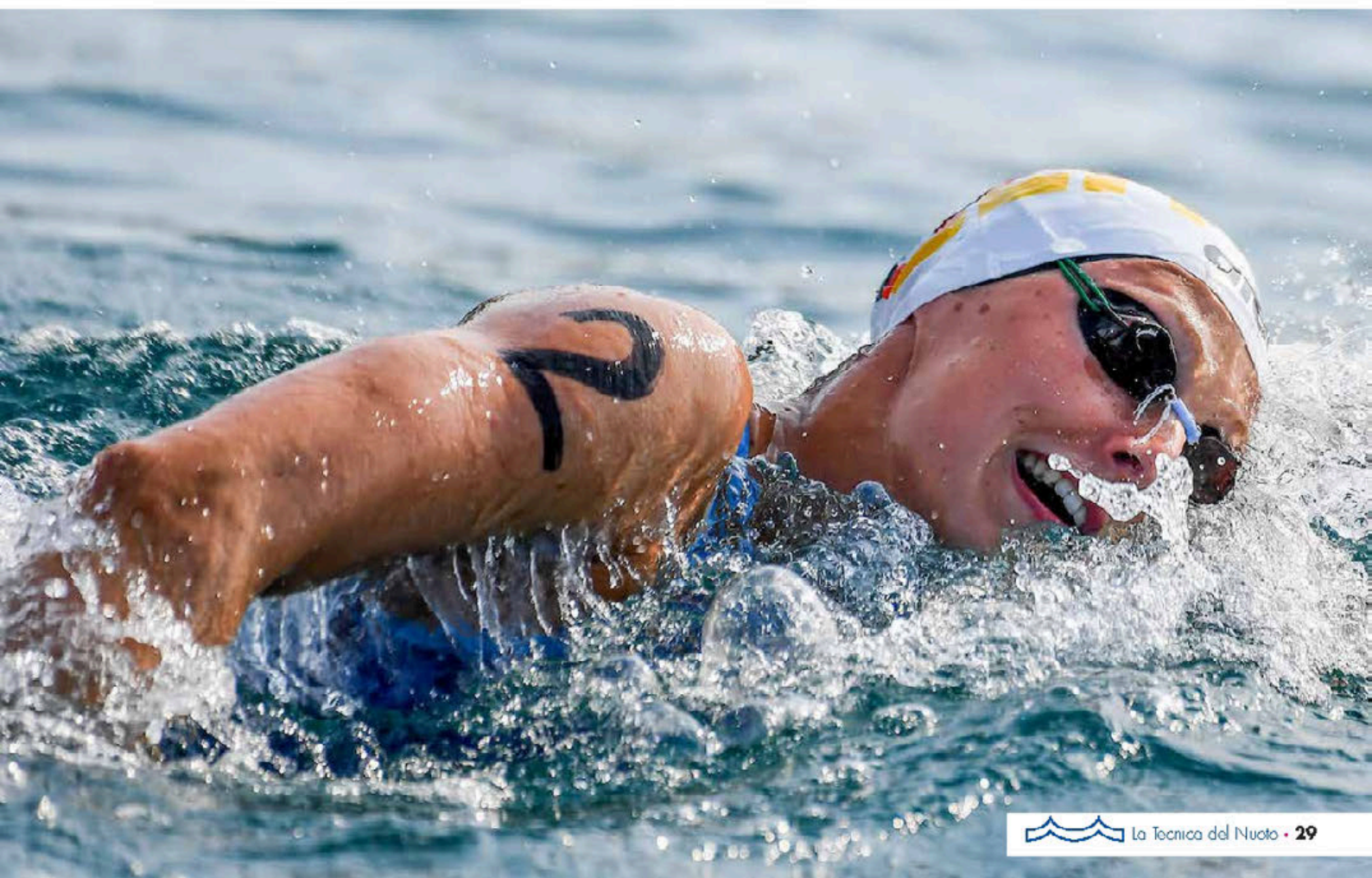
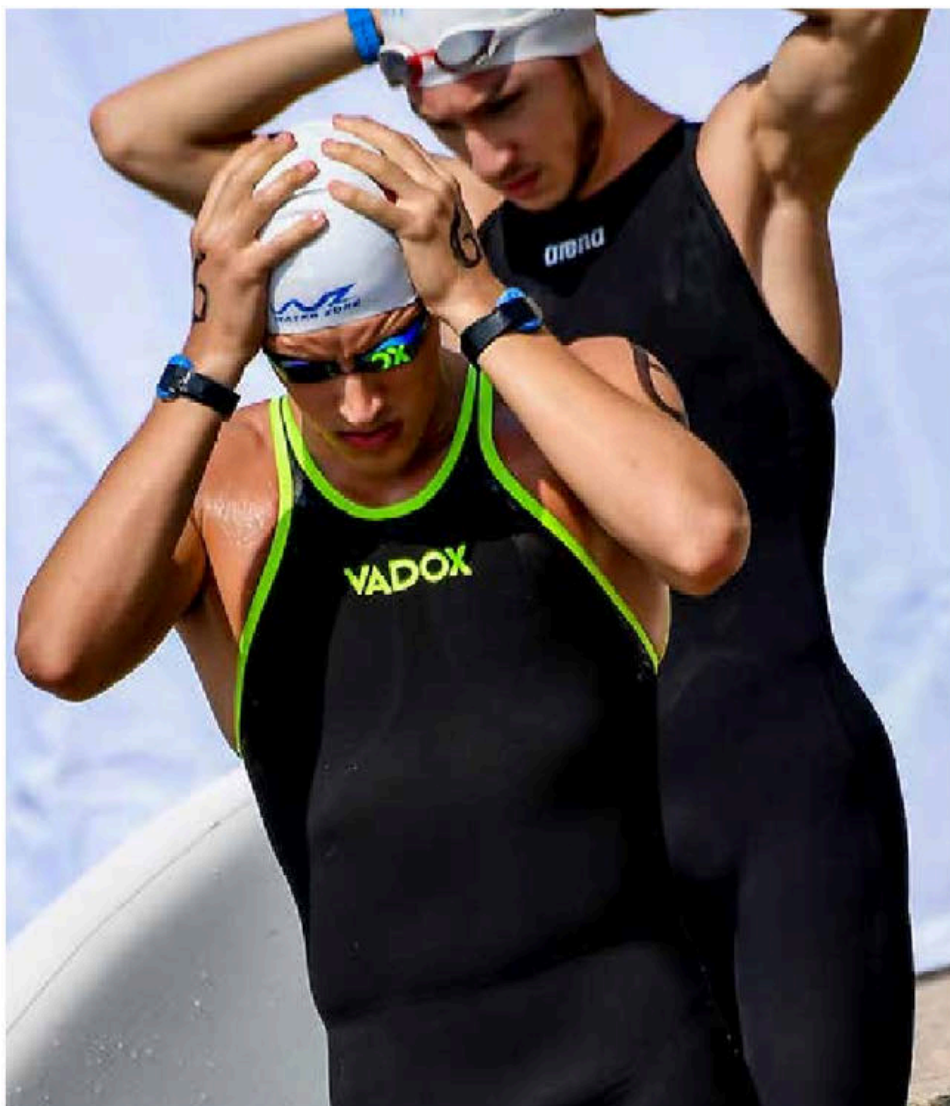




condotto un test su 75 minuti<sup>18</sup> mostrando come la protezione termica in acqua fredda fornita dall'utilizzo della muta perduri durante tutta l'attività. Inoltre un altro studio ha condotto un test su una serie di 7x200m evidenziando come alcuni parametri fisiologici risultino inalterati durante i primi minuti di attività, seguiti poi da un significativo vantaggio a favore dell'utilizzo della muta<sup>9</sup>.

Infine, gli studi che hanno indagato gli effetti della muta qui presentati sono stati pubblicati nell'arco di numerosi anni (dal 1986 al 2021). Per questo motivo eventuali discrepanze, sulla misura effettiva dell'incremento della performance, possono essere dipendenti dall'avanzamento tecnologico nel design e struttura della muta<sup>26</sup>.

Risulta quindi importante tenere a mente che gli effetti della muta fino ad ora presentati in letteratura (e qui riassunti) sono da tenere in considerazione come indicazioni generali, in attesa che ulteriori studi siano svolti per confermare (o rivalutare) le conclusioni fino ad oggi riportate.





## CONCLUSIONI

La muta è un abbigliamento tecnico utilizzato nelle competizioni di nuoto in acque libere e triathlon. Il suo scopo primario è quello di prevenire l'ipotermia in situazione di acqua fredda, ma il suo utilizzo mostra anche un notevole incremento di prestazione. Il miglioramento sembrerebbe dipendere diretta-

mente dalle caratteristiche intrinseche del neoprene, di cui la muta è principalmente composta, le quali influiscono sull'attrito del nuotatore. Tuttavia gli atleti trovano scomodo nuotare con una muta, probabilmente per un'alterata azione di bracciata e gambata. Ad oggi resta però difficile stimare quanto siano ampi gli effetti dovuti all'utilizzo della muta, poiché le variabili da

considerare sono molteplici: tipologia di muta, familiarità dell'atleta e livello prestativo dello stesso. Inoltre, gli studi effettuati fino ad ora sono stati svolti in contesti non ecologici rispetto alla situazione di gara (acque libere e lunga durata), ed i risultati fino ad ora presentati sono quindi da considerarsi come indicativi, in attesa di ulteriori studi più approfonditi.





## BIBLIOGRAFIA

1. Melau J, Mathiassen M, Sten-srud T, Tipton M, Hisdal J. Core Temperature in Triathletes during Swimming with Wetsuit in 10 °C Cold Water. *Sports*. 2019;7(6):130. doi:10.3390/sports7060130
2. Saycell J, Lomax M, Massey H, Tipton M. Scientific rationale for changing lower water temperature limits for triathlon racing to 12°C with wetsuits and 16°C without wetsuits. *Br J Sports Med*. 2018;52(11):702-708. doi:10.1136/bjsports-2017-098914
3. Naebe M, Robins N, Wang X, Collins P. Assessment of performance properties of wetsuits. *Proc Inst Mech Eng Part P J Sport Eng Technol*. 2013;227(4):255-264. doi:10.1177/1754337113481967
4. Hall J, Lomax M, Massey HC, Tipton MJ. Thermal response of triathletes to 14°C swim with and without wetsuits. *Extrem Physiol Med*. 2015;4(S1):1-2. doi:10.1186/2046-7648-4-s1-a49
5. International Triathlon Union. ITU Competition Rules. 2018;(November). [https://www.triathlon.org/uploads/docs/ituSPORT\\_competition-rules\\_2019.pdf](https://www.triathlon.org/uploads/docs/ituSPORT_competition-rules_2019.pdf).
6. Fédération Internationale de Natation. FINA Requirements for Swimwear Approval. 2017. <https://resources.fina.org/final/document/2021/02/23/7d-18d53c-cf57-47f2-a-dc9-4649c1926044/frsa.pdf>.
7. Chatard JC, Millet G. Effects of Wetsuit Use in Swimming Events: Practical Recommendations. *Sport Med*. 1996;22(2):70-75. doi:10.2165/00007256-199622020-00002
8. Toussaint HM, Bruinik L, Coster R, et al. Effect of a triathlon wetsuit on drag during swimming. *Med Sci Sports Exerc*. 1989;21(3):325-328. doi:10.1131/89/2103-0325\$2.00/0
9. Quagliarotti C, Cortesi M, Padua M, et al. Swimming with a wetsuit mitigates the increase in fatigue and reduces drag (trunk incline) in well trained triathletes. In: 25<sup>th</sup> European Congress of Sport Science.; 2021.
10. Perrier D, Monteil K. Triathlon Wet Suit and Technical Parameters at the Start and End of a 1500-m Swim. *J Appl Biomech*. 2004;20(1):3-13. doi:10.1123/jab.20.1.3
11. Tomikawa M, Nomura T. Relationships between swim performance, maximal oxygen uptake and peak power output when wearing a wetsuit. *J Sci Med Sport*. 2009;12(2):317-322. doi:10.1016/j.jsams.2007.10.009
12. De Lucas RD, Balikian P, Neiva CM, Greco CC, Denadai BS. The effects of wet suits on physiological and biomechanical indices during swimming. *J Sci Med Sport*. 2000;3(1):1-8. doi:10.1016/S1440-2440(00)80042-0
13. Tomikawa M, Shimoyama Y, Nomura T. Factors related to the advantageous effects of wearing a wetsuit during swimming at different submaximal velocity in triathletes. *J Sci Med Sport*. 2008;11(4):417-423. doi:10.1016/j.jsams.2007.02.005
14. Zamparo P, Gatta G, Pendergast D, Capelli C. Active and passive drag: The role of trunk incline. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(2):195-205. doi:10.1007/s00421-009-1007-8
15. Perrier D, Monteil M. Wetsuit and performance: influence of technical abilities. *J Hum Mov Stud*. 2001;41(3):191-207.
16. Gay A, Lopez-Contreras G, Fernandes RJ, Arellano R. Is swimmers performance influenced by wetsuit use? *Int J Sports Physiol Perform*. 2020;15(1):46-51. doi:10.1123/ijsp.2018-0891
17. Gay A, Zacca R, Abualdes JA, et al. Swimming with Swimsuit and Wetsuit at Typical vs Cold-water Temperatures (26 vs. 18). *Int J Sports Med*. 2021. doi:10.1055/a-1481-8473
18. Rois S, Zacharakis E, Kounalakis S, Soultanakis HN. Thermoregulatory responses during prolonged swimming with a Wetsuit at 25 °C. *Int J Perform Anal Sport*. 2021;21(5):831-844. doi:10.1080/024748668.2021.1947018
19. Parsons L, Day SJ. Do wet suits affect swimming speed? *Br J Sports Med*. 1986;20(3):129-131. doi:10.1136/bjsm.20.3.129
20. Quagliarotti C, Cortesi M, Gatta G, et al. Wetsuit Use during Open Water Swimming. Does It "suit" Everybody? A Narrative Review. *Int J Sports Physiol Perform*. 2021;16(9):1217-1224. doi:10.1123/IJSP.2020-0808
21. Nicolaou KD, Kozusko JM, Bishop PA. The effect of wetsuit on swim performance. *J Swim Res*. 2001;15:20-26.
22. Zacca R, Mezêncio B, de Souza Castro FA, et al. Case Study. Comparison of Swimsuits and Wetsuits Through Biomechanics and Energetics in Elite Female Open Water Swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*. 2021;1-7. doi:10.1123/ijsp.2021-0044
23. Hue O, Benavente H, Chollet D. The effect of wet suit use by triathletes: An analysis of the different phases of arm movement. *J Sports Sci*. 2003;21(12):1025-1030. doi:10.1080/0264041031000140419
24. Zamparo P, Cortesi M, Gatta G. The energy cost of swimming and its determinants. *Eur J Appl Physiol*. 2019;120(1):41-66. doi:10.1007/s00421-019-04270-y
25. Chatard JC, Senegas X, Selles M, Dreanot P, Geyssant A. Wetsuit effect: a comparison between competitive swimmers and triathletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(4):580-586.
26. Millet GP, Vleck VE. Triathlon specificity (chapter in: Seifert L, Chollet D, Mujika I, eds. *World Book of Swimming: From Science to Performance*. Nova Novinka; 2010:1-15.



# **Benedetta Pilato**

*Record Mondiale  
Juniores 50 rana*



# **Gregorio Paltrinieri**

*Record Europeo 1500*

