



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**SVILUPPO DI UN SISTEMA DI MISURA DELLA POSIZIONE IN VASCA
DI UN NUOTATORE PER IL CRONOMETRAGGIO AUTOMATIZZATO**

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING A SWIMMER'S
POSITION IN THE POOL FOR AUTOMATED TIMING**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Paolo Castellini

Tesi di Laurea di:

Riccardo Zaffrani-Vitali

A.A. 2021 / 2022

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. MATERIALI E METODI	6
2.1 MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELLA PROVA	6
2.2 SISTEMA DI ACQUISIZIONE DELLE IMMAGINI.....	8
2.3 STESURA CODICE	10
2.4 CALIBRAZIONE	13
2.5 ELABORAZIONE DATI.....	14
3. RISULTATI	18
3.1 VELOCITÀ	18
3.2 VELOCITÀ MEDIA.....	20
4. CONCLUSIONI	21
5. BIBLIOGRAFIA	22

1. Introduzione

Gli allenatori di nuoto professionisti, al giorno d'oggi, utilizzano la video analisi per valutare le prestazioni dei loro atleti.

Il miglioramento delle prestazioni sportive a livello agonistico infatti non si basa più solo sulle istruzioni degli allenatori, ma soprattutto sull'osservazione di video in cui gli atleti vengono registrati durante l'allenamento o durante la performance.

In questo modo, la performance dell'atleta, può essere osservata nel dettaglio dagli allenatori, ma soprattutto dall'atleta stesso, in modo tale da identificare in maniera più accurata eventuali errori nell'esecuzione della performance e correggerli.

L'idea di riprendere gli atleti con fotocamere o videocamere, in realtà, risale già dai primi anni del '900.

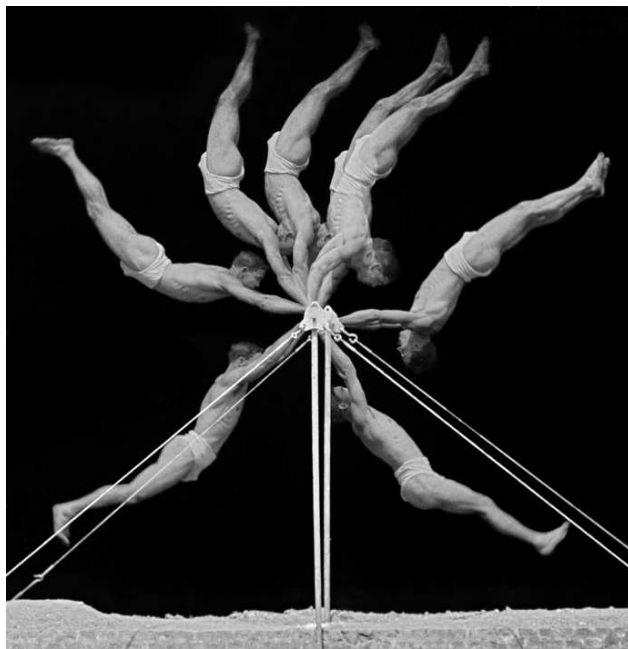


Figura 1 – Lastra fotografica ricavata con lampade stroboscopiche

Allora si era capito che tramite l'utilizzo di lampade stroboscopiche (lampade che emettono luce ad intervalli regolari) si potevano registrare sulla

lastra fotografica, le varie posizioni di un atleta in modo tale da analizzare il gesto tecnico [1].

Nello specifico, nel nuoto, le prestazioni dell'atleta possono essere valutate estraendo informazioni sulla posizione, sulla velocità e sull'accelerazione.

Esistono metodi in cui vengono utilizzati sensori dotati di accelerometri per ricavare parametri relativi al movimento dell'atleta; in altri casi, si utilizzano sensori fotoplethimografici come smartwatch e dispositivi indossabili sul petto, per il monitoraggio fisiologico durante l'attività sportiva [2].



Figura 2 – Sensori Fotoplethimografici

Tuttavia, queste soluzioni sono altamente sensibili, scomode da indossare durante la performance e scomode dal punto di vista della fluidodinamica.

I marker sono tipicamente attaccati al corpo umano in modo da ricostruire accuratamente il movimento.

Tuttavia, alcuni marker sono costosi, ingombranti e tendono a influenzare le prestazioni dell'atleta; e in alcuni casi non è possibile rilevarli in acqua a causa dell'indice di rifrazione.

Ed è Proprio per questa serie di motivazioni che negli ultimi anni c'è stata una forte tendenza ad approfondire i metodi, di analisi della prestazione sportiva, marker-less i quali stanno diventando sempre di più largo utilizzo nell'analisi dei nuotatori.

Al fine di ottenere informazioni immediate sulla posizione dell'atleta, gli algoritmi di computer vision giocano un ruolo importante nell'analisi video automatica [3].

Infatti, l'elaborazione delle immagini viene utilizzata per risparmiare tempo e risorse che, fino ad ora, sono state utilizzate per effettuare un'analisi manuale del gesto tecnico o della performance [4,5].

Comunemente, un allenatore condurrà l'analisi tecnica utilizzando il video come ausilio alle proprie osservazioni [6].

Questa analisi si basa sulla conoscenza e sull'esperienza dell'allenatore, ma il video consente all'allenatore di preparare, osservare, stimare e valutare le prestazioni di un nuotatore prima di intraprendere quella che considera l'azione più appropriata [7].

A titolo di esempio, un approccio di digitalizzazione automatizzata riportato di recente, afferma di ridurre i tempi di elaborazione di un fattore dieci rispetto ai metodi di tracciamento manuale [8].

La qualità dell'immagine è una delle caratteristiche necessarie per ottenere una buona acquisizione del movimento.

Durante la prova è stata utilizzata una sola telecamera, posizionata in una posizione sopraelevata ed esterna alla vasca.

Nell'ambiente delle piscine ci sono diversi fattori di disturbo che potrebbero influenzare le riprese fotografiche con conseguente scarsa precisione di misura.

Tali fenomeni sono dovuti alla riflessione e rifrazione dell'acqua, alla presenza di spruzzi, schiuma e bolle dovuti ai movimenti veloci dell'atleta durante la performance sportiva.



Figura 3 – Fattori di disturbo (bolle, spruzzi, onde, riflessione,)

Inoltre, il frequente scambio tra la previsione della posa dell'arto destro e sinistro rende laboriosa la ricostruzione della traiettoria.

Quando si mira alla misurazione delle prestazioni degli atleti è di primaria importanza indentificare accuratamente le parti del corpo interessate.

Durante le riprese molto spesso alcune parti del corpo sono parzialmente nascoste, questo perché il nuotatore viene inquadrato lateralmente.

Pertanto, il compito di misurare le prestazioni degli atleti non dovrebbe essere affrontato come un normale problema di analisi umana o rilevamento dello scheletro.

Infatti l'attenzione dovrebbe anche essere rivolta a garantire l'uniformità e la stabilità dei risultati.

Ad esempio, se in un inquadratura sono visibili solo la mano destra e il piede sinistro a causa di un particolare movimento dell'atleta non si deve cercare di ricostruire il corpo nella sua interezza: va data priorità all'identificazione, con la massima accuratezza possibile, delle parti del corpo chiaramente visibili.

Spetterà poi all'allenatore, durante la fase di post elaborazione dei dati, interpretarli correttamente, colmando il mancato rilevamento di determinate parti del corpo in determinati frame.

Sulla base di questi presupposti è stato sviluppato un sistema di misura della posizione in vasca di un nuotatore per il cronometraggio automatizzato utilizzando il software MatLab.

Il quale ci ha consentito di estrapolare dati interessanti, di nuotatori di alto livello, sfruttando immagini esterne acquisite in una piscina reale.

Il programma sviluppato è stato testato con successo su atleti professionisti ed i risultati sono stati confrontati con le annotazioni manuali di un esperto istruttore di nuoto al fine di valutare le prestazioni metrologiche del metodo sviluppato.

2. Materiali e Metodi

Le fasi del processo di analisi dei video si suddividono fondamentalmente in tre fasi: selezione e configurazione delle telecamere, acquisizione video, elaborazione ed analisi dei dati [9].

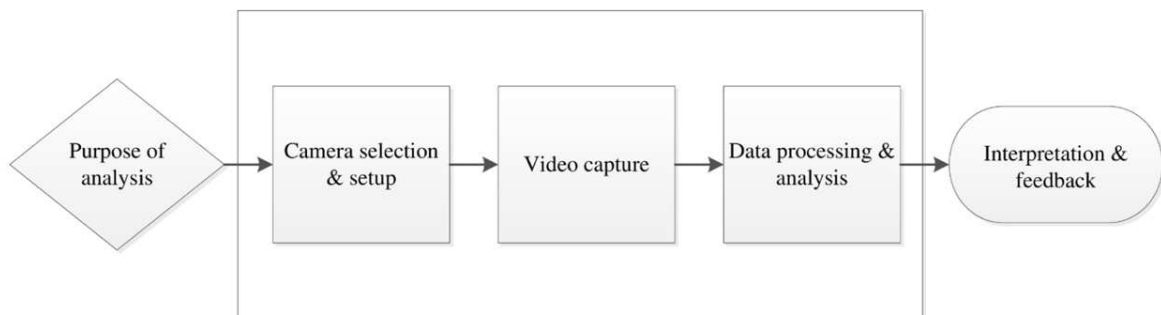


Figura 4 – Schema fasi del processo di analisi video

La fase di interpretazione e feedback spetta all'allenatore il quale può a sua volta, in base ai dati che gli sono stati forniti e alla sua esperienza, indicare dove migliorare il metodo utilizzato e di focalizzare l'attenzione su aspetti ritenuti per lui di maggiore importanza al fine di migliorare la performance dell'atleta.

Quindi la fase di interpretazione e feedback è strettamente legata alla fase di presupposto dell'analisi.

2.1 Modalità di svolgimento della prova

I nostri esperimenti hanno riguardato le prestazioni di nuoto di un'atleta di alto livello, donna, in una piscina standard da 25 metri.

Prima di effettuare le prove filmate, la nuotatrice ha svolto un breve riscaldamento in acqua per ritrovare la fluidità della nuotata e per prendere i riferimenti della vasca in cui sono state effettuate le riprese.

La riprese utilizzate per i test sono state effettuate su una distanza di 175 metri (7 vasche) nuotati continuativamente dall'atleta.

Le prime tre vasche sono state nuotate a velocità diverse, ogni vasca mantenendo lo stesso stile di nuotata, lo stile libero:

- la prima vasca è stata nuotata senza richiedere una particolare velocità all'atleta, che ha pertanto tenuto un'andatura blanda;
- per la seconda vasca, al contrario, all'atleta è stato chiesto di nuotare al massimo della propria velocità;
- la terza vasca è stata nuotata in progressione, ovvero partendo piano e per concludere alla velocità massima i 25 metri.

Dopo queste prime tre vasche l'atleta ha eseguito un 100 metri misti in cui sono stati nuotati tutti e quattro gli stili fondamentali del nuoto nel seguente ordine: delfino, dorso, rana e stile libero, senza particolare richiesta rispetto alle andature e alle velocità.

In sintesi:

vasca 1 – stile libero blando

vasca 2 – stile libero velocità massima

vasca 3 – stile libero progressione

vasca 4 – delfino blando

vasca 5 – dorso blando

vasca 6 – rana blanda

vasca 7 – stile libero blando

2.2 Sistema di acquisizione delle immagini

Per tutte le acquisizioni delle immagini è stata utilizzata una sola action camera GoPro HERO 10.



Figura 5 – Action camera GoPro Hero 10

Questo dispositivo di registrazione è stato scelto per dimostrare la versatilità dell'approccio sviluppato.

L'utilizzo di una singola telecamera offre la facilità di portabilità e configurazione e spesso può essere utilizzato per una rapida valutazione della prestazione [10].

Le telecamere statiche vengono generalmente utilizzate per consentire la valutazione del movimento rispetto a un riferimento esterno [11,12,13].

La telecamera è fissata su un campo visivo specifico e il filmato viene catturato mentre il nuotatore si sposta.

Quando si utilizza uno spazio di acquisizione più piccolo sorgono problemi, in quanto è possibile registrare effettivamente un numero ridotto di cicli di nuotata all'interno dello spazio di acquisizione [14].

Ciò potrebbe limitare l'efficacia di tale approccio in quanto non consente di osservare completamente le variazioni nei modelli di movimento dei nuotatori [15].

I video sono stati registrati con una risoluzione di 3480 x 2160 pixel a 120fps.

La fotocamera è stata posta su di un apposito treppiedi garantendone la stabilità ad un'altezza di circa 2 metri dal pelo libero dell'acqua.

Il sistema di acquisizione, composto da treppiedi e action camera, è stato posizionato su un lato della piscina in posizione sopraelevata come mostrato in figura 6.

La vista laterale è utile perché offre un ampio campo visivo e consente di osservare più cicli di nuoto mantenendo la telecamera fissa.

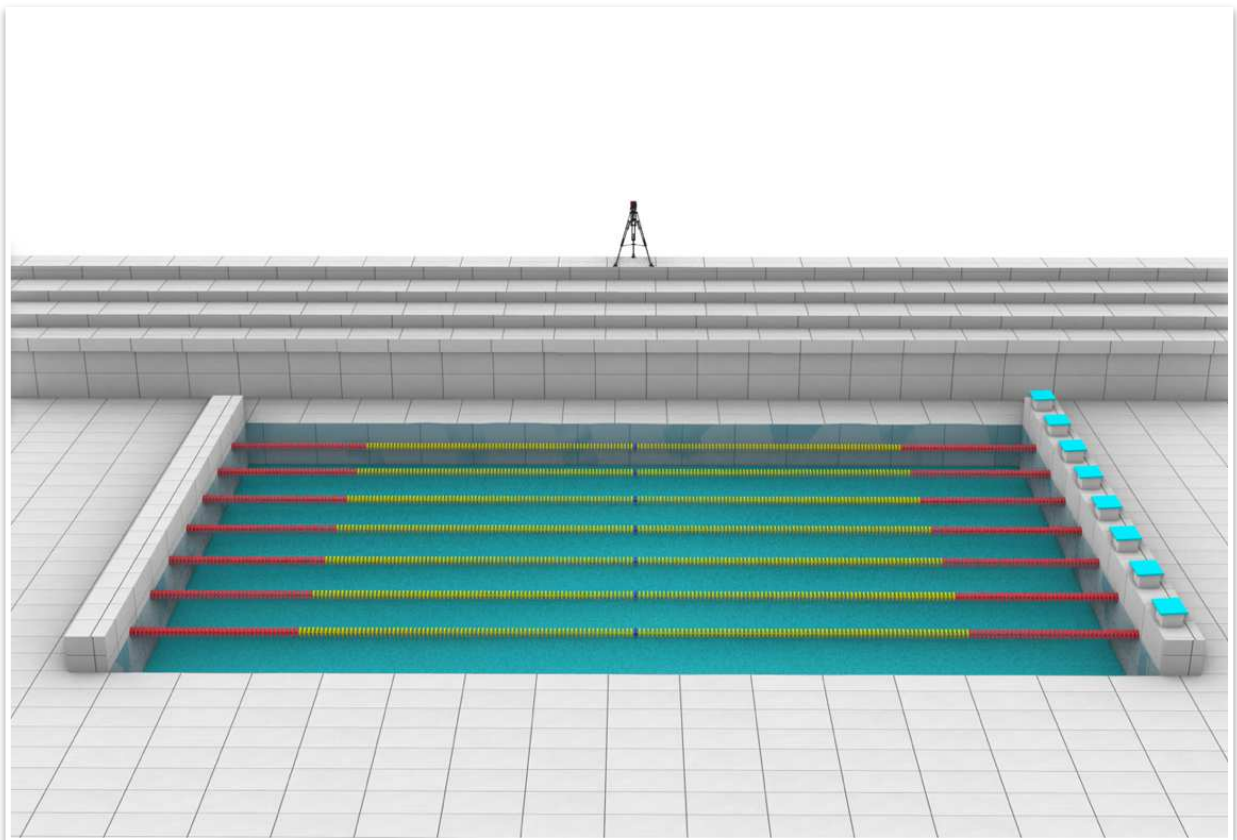


Figura 6 – Ambiente della prova

2.3 Stesura Codice

Come possiamo osservare dalla figura 7 , il primo passaggio nella stesura del codice è quello di inserire il nome del file video che dovrà essere processato.

```
nomefile='Sara.mp4';  
  
v = VideoReader(nomefile);  
frame_rate=v.FrameRate;  
dt=1/frame_rate;  
jj=1;  
while hasFrame(v)  
    frame = readFrame(v);  
    I(:,:,jj)=frame(350:450, :, 3);  
    jj=jj+1;  
end
```

Figura 7

Successivamente è stato utilizzato il comando “VideoReader(nomefile)” attraverso il quale il programma andrà a leggere il file: “Sara.mp4” contenente dati video.

Con il comando ”While hasFrame” il programma esegue, uno alla volta, la lettura di tutti i frame del video e li salva all’interno di una matrice “I” di dimensione 101x1280x1936.

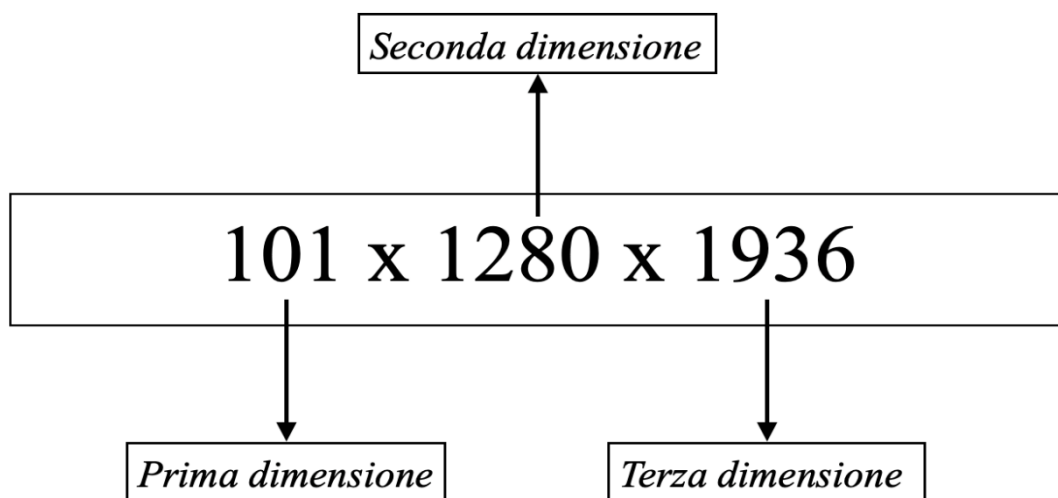


Figura 8

La prima dimensione fa riferimento alla ROI (Region of Interest) selezionata per ogni frame nella direzione x tramite la quale è stato possibile individuare l'atleta all'interno dell'immagine.

La seconda dimensione fa riferimento al numero delle y dell'immagine. Mentre la terza dimensione corrisponde al numero totale dei frames presenti nel video.

In seguito, come possiamo notare dalla figura 9, è stata calcolata la media della matrice "I" nella terza dimensione, ovvero l'immagine media relativa quindi a tutti frames la quale prende il nome di "I_m".

```
I_m=mean(double(I),3);
```

Figura 9 – calcolo immagine media

La matrice "I_m" che si è andata a formare, di dimensioni 101x1280, va a rappresentare lo "sfondo" del video.

Attraverso il ciclo for, come è possibile vedere nella figura 10, sono stati analizzati tutti i frame del video.

Il passaggio fondamentale, che ha permesso a tutti gli effetti di ricavare i dati che saranno poi argomento dell'analisi, riguarda il calcolo di una nuova matrice "Im" la quale è stata ottenuta facendo una sottrazione.

Nello specifico, è stata sottratta all'immagine media, ovvero lo sfondo, ogni singolo frame in cui è stato rilevato il passaggio dell'atleta.

Questo ha permesso di mettere in risalto la figura dell'atleta al variare di ogni singolo frame rispetto allo sfondo il quale resta sempre lo stesso.

```

for ii=1:size(I,3)
    ii;

    Im=I_m-double(squeeze(I(:,:,ii)));

    Im=Im-min(Im(:));
    px=mean(double(Im),1);
    [m(ii), ind(ii)]=max(px);
    subplot(2,1,1)
    pcolor(Im),shading interp
    clim=[0 255];
    colorbar
    axis equal
    hold on

    plot([ind(ii),ind(ii)],[0,450-350],'-r')
    hold off
    subplot(2,1,2)
    plot(1:length(px),px,'-'),hold on
    plot([ind(ii)],[m(ii)],'*')
    ylim([0 255])
    hold off

    pause(0.1)
end

```

Figura 10

Con “max(px)” è stato possibile andare a rilevare, rispetto alla superficie dell’acqua, i valori di massimo, i quali sono rappresentati dall’alternarsi delle bracciate dell’atleta.

Il programma quindi non farà altro che identificare le zone aventi l’intensità più alta del colore giallo, e denominarle come punti di massimo.

In questo modo è stato inoltre possibile identificare la posizione della testa dell’atleta istante per istante.

Successivamente è stato plottato il tutto per avere un riscontro grafico, il quale ha permesso di verificare la veridicità di quanto fatto. (Figura 11)

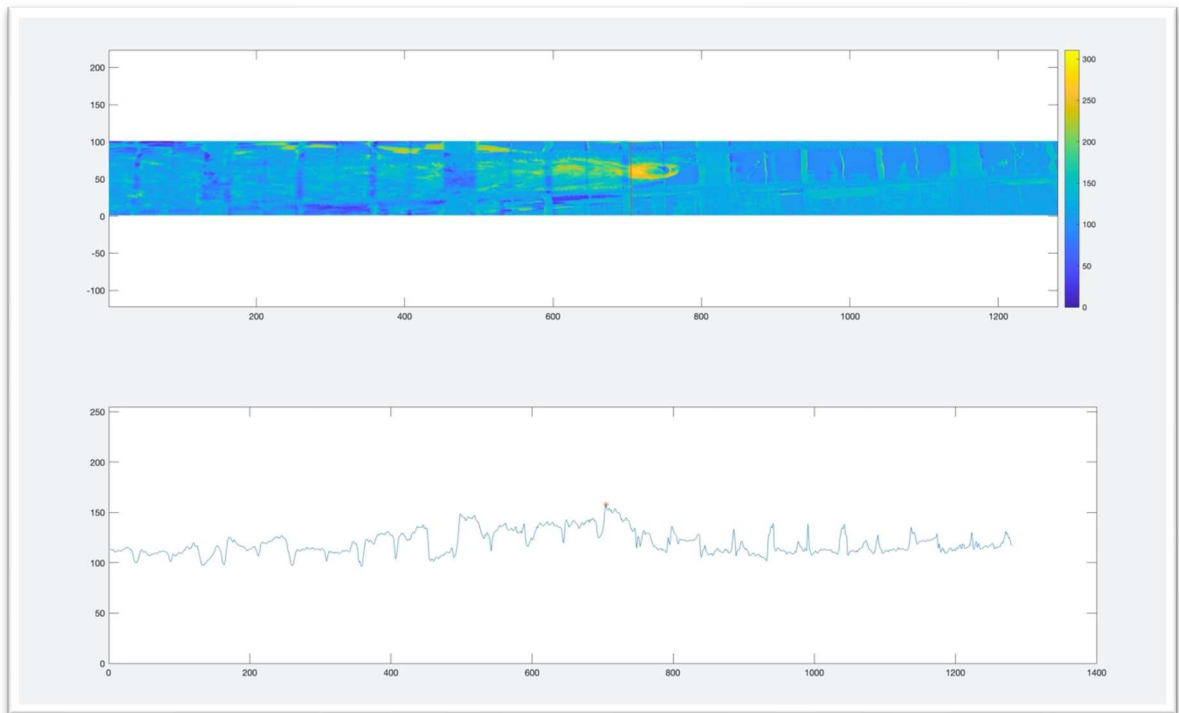


Figura 11

2.4 Calibrazione

Essendo già nota la dimensione in metri della parte della vasca inquadrata, è stato possibile calcolare un fattore di conversione da pixel a metri.

In particolare, è stata calcolata la lunghezza in pixel della vasca inquadrata e il risultato è stato poi utilizzato per ricavare il fattore di conversione M (eq. 1).

$$M = \frac{\text{distanza in metri}}{\text{distanza in pixel}} \quad (\text{eq. 1})$$

Una volta calcolato M , è stato poi moltiplicato per il vettore contenente le coordinate in pixel della posizione dell'atleta.

2.5 Elaborazione dati

I dati relativi alla posizione, avevano una elevata presenza di rumore, dovuta all'uscita dal campo visivo da parte dell'atleta, perciò risultavano difficili da identificare entrata e uscita dell'atleta dal campo visivo della telecamera.

Per questo motivo sono stati selezionati manualmente i punti di massimo e di minimo di ogni curva relativa alle varie vasche (vasca 1, vasca2, ...).

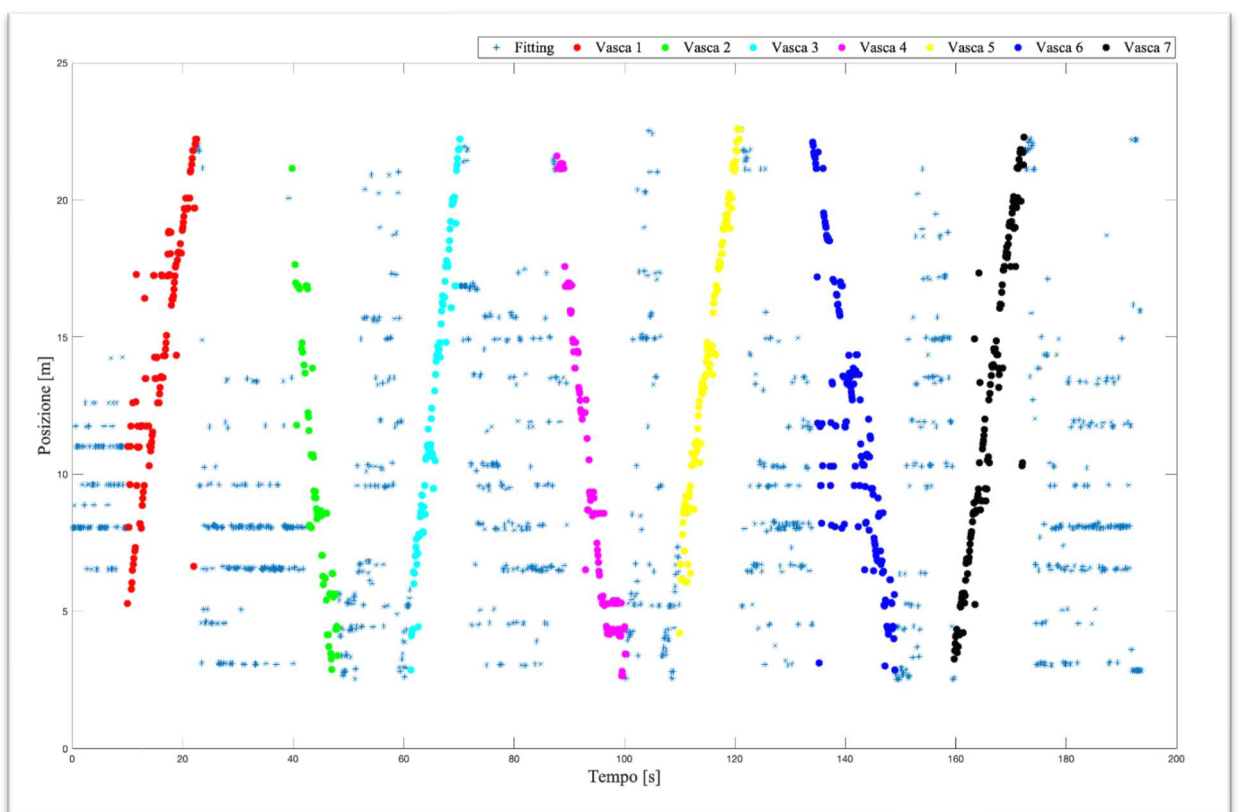


Figura 12 – Grafico posizione/tempo

Successivamente ad ognuna di esse è stato applicato un filtro polinomiale in modo da renderle più facilmente leggibili ed uniformare i dati.

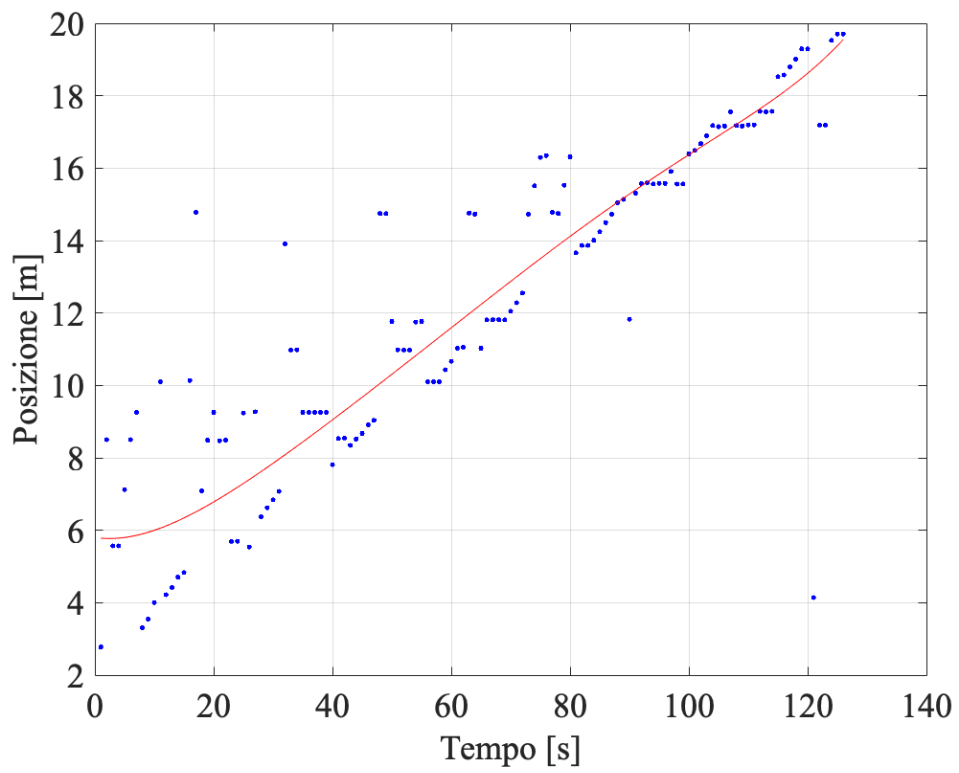


Figura 13 – Fit Vasca 1

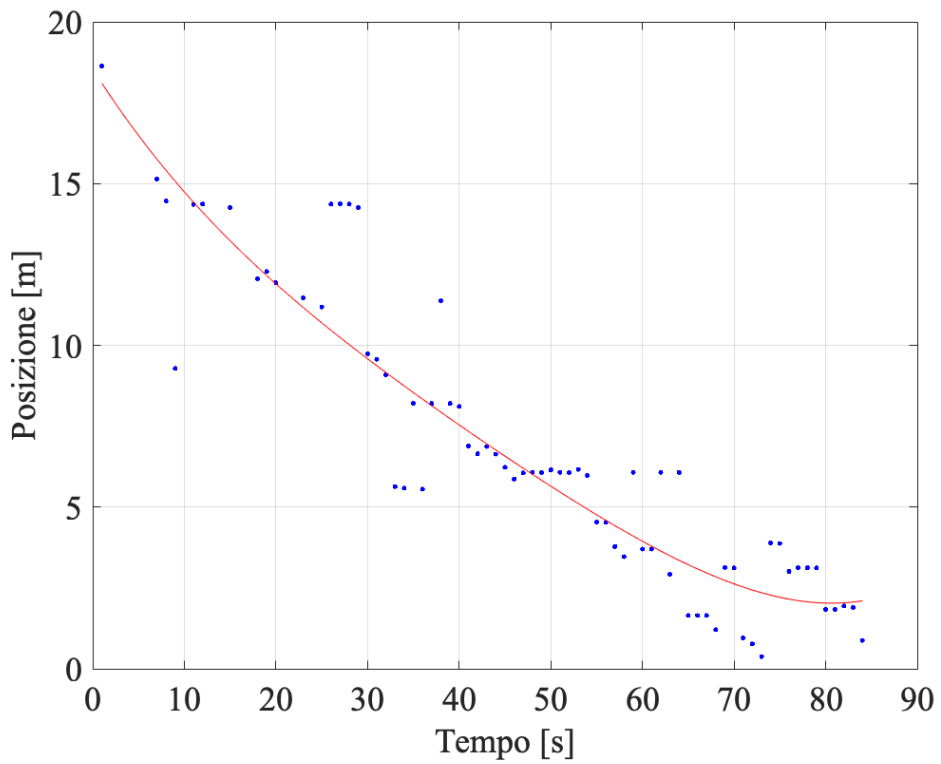


Figura 14 – Fit Vasca 2

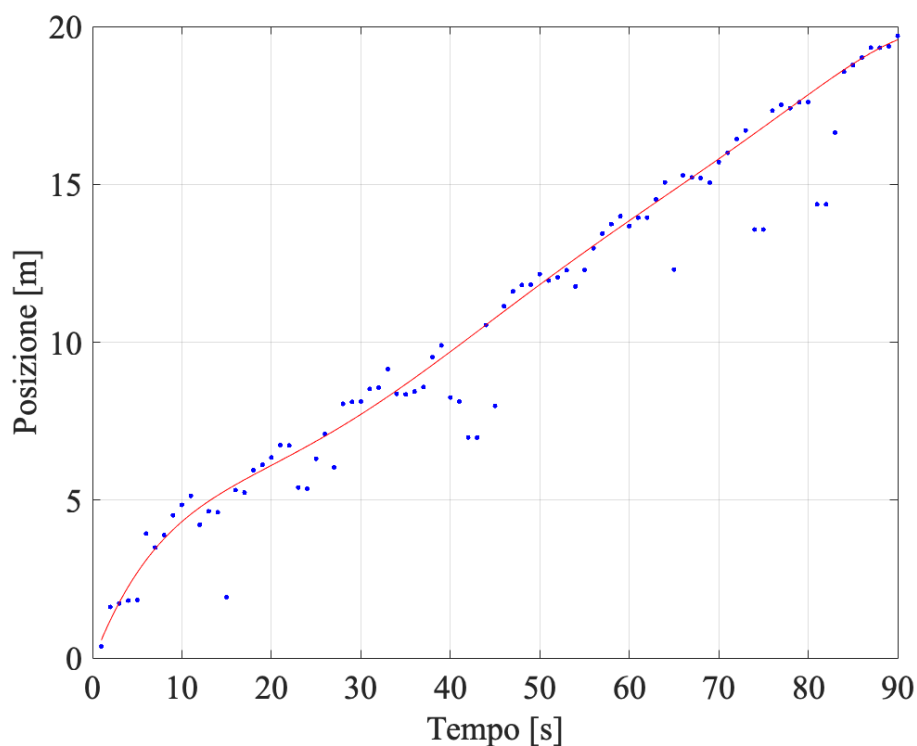


Figura 15 – Fit Vasca 3

Nei grafici è possibile apprezzare il susseguirsi dei cicli di nuotata effettuati dal nuotatore.

Nello specifico, ad esempio, nel periodo di tempo che va dal secondo 50 al secondo 80 sono stati eseguiti due cicli di nuotata, facilmente individuabili dall' interruzione dell'andamento lineare crescente dei dati.

In seguito è stata calcolata la velocità derivando i dati relativi alla posizione dell'atleta, applicando la seguente formula (eq. 2):

$$Velocità\ n = \frac{(posizione\ vasca\ n\ (ii+1) - posizione\ vasca\ n(ii-1))}{dt*2} \quad (eq. 2)$$

dove 'ii' è il frame corrente.

Attraverso un ciclo for, ii viene incrementato fino a considerare tutti i frames delle relativa vasca; mentre n è riferito ad ogni vasca eseguita durante l'esercizio.

Nelle vasche 1, 3, 5 e 7 l'atleta avanza da sinistra a destra durante l'esercizio. Di conseguenza, i valori delle velocità risultano positivi.

Al contrario, nelle vasche 2, 4 e 6 l'atleta nuota da destra verso sinistra, invertendo così il risultato della curva di velocità e dando risultati negativi. Per questo motivo, all'interno della formula è stato inserito il segno '-', permettendo di ottenere anche in questo caso valori di velocità positivi.

Successivamente, è stata calcolata la velocità media al fine di avere un valore complessivo di velocità per ogni vasca.

La velocità media è stata calcolata usando il comando mean su MatLab, il quale ha effettuato una media delle velocità misurate in ogni singola vasca.

```
%% velocità media  
v_mvasca1=mean(velvasca1);  
v_mvasca2=mean(velvasca2);  
v_mvasca3=mean(velvasca3);  
v_mvasca4=mean(velvasca4);  
v_mvasca5=mean(velvasca5);  
v_mvasca6=mean(velvasca6);  
v_mvasca7=mean(velvasca7);
```

Figura 16 – Calcolo Velocità Media

3. Risultati

3.1 Velocità

Nei grafici delle velocità è possibile apprezzare le variazioni di velocità svolte dal nuotatore durante la nuotata.

Dalle variazioni delle velocità è possibile determinare in maniera indiretta le accelerazioni che il nuotatore imprime durante la nuotata, che gli permettono di aumentare la propulsione e di conseguenza avanzare più velocemente.

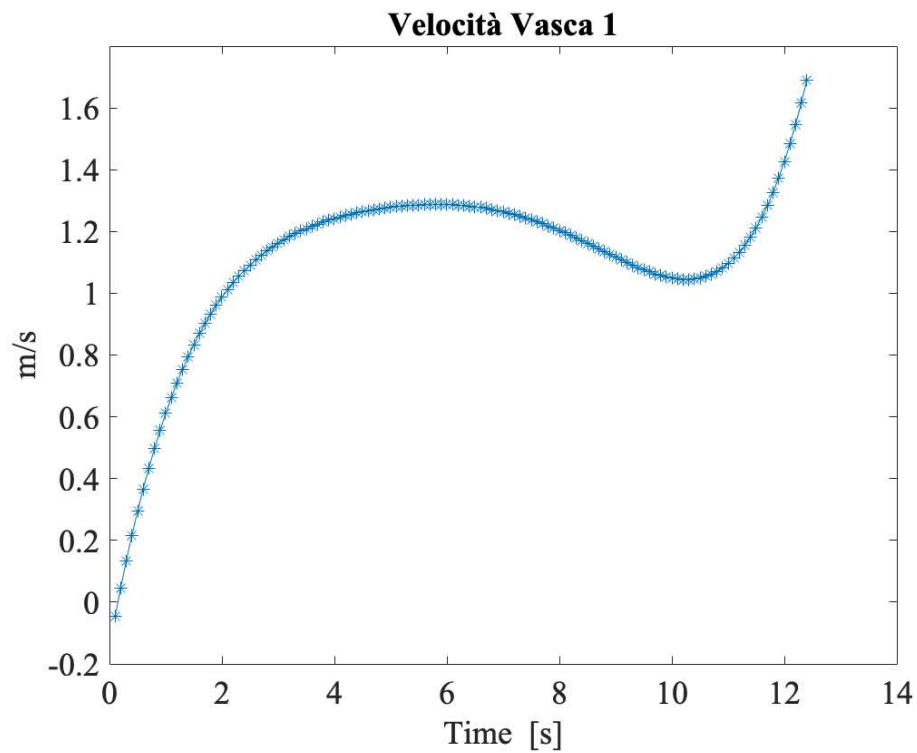


Figura 17 – Velocità Vasca 1

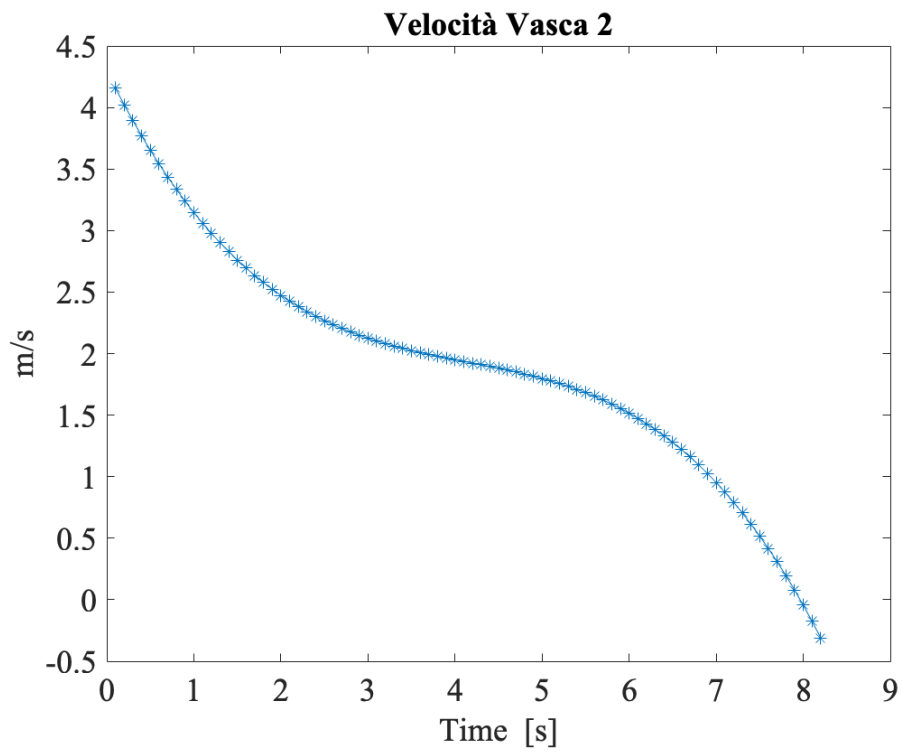


Figura 18 – Velocità Vasca 2

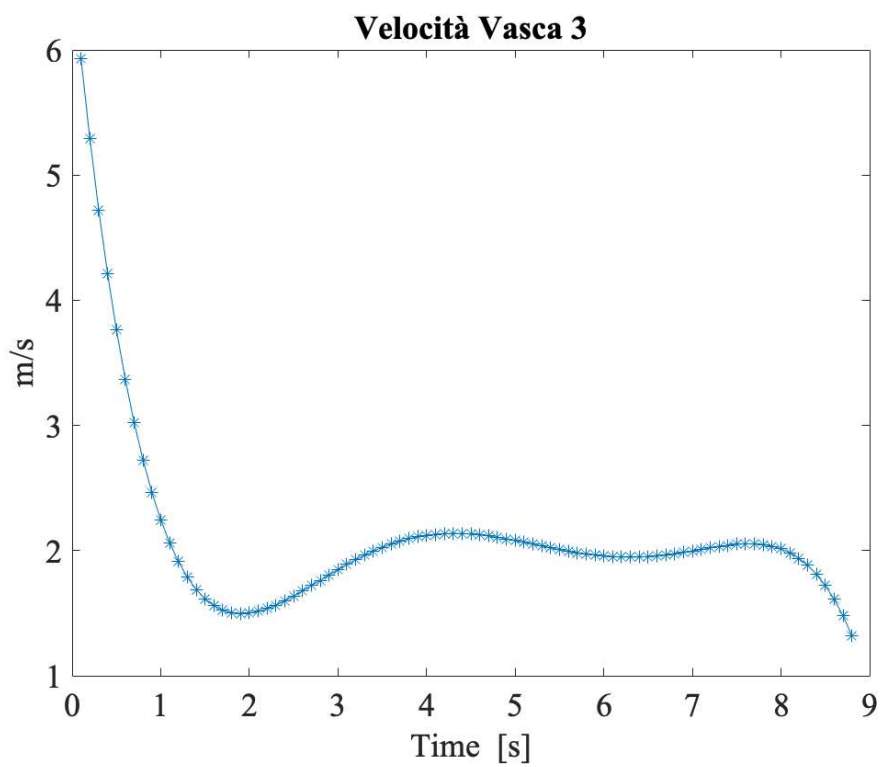


Figura 19 – Velocità vasca 3

I grafici delle velocità vasca 1 e vasca 2 (figura 17, figura 18) sono in linea con quanto ci si aspettava, mentre il grafico della velocità vasca 3 (figura 19) presenta delle incongruenze con quanto osservato nel video.

Nonostante la curva vasca 3 sia stata filtrata, presenta comunque molti dati rumorosi i quali vanno a disturbare il fitting e di conseguenza ci restituiscono un grafico delle velocità non proprio in linea con quanto atteso.

3.2 Velocità Media

Le velocità medie sono stata calcolate perché sono un parametro fondamentale per l'allenatore poiché gli permettono di determinare, in un confronto tra atleti, quale è il più veloce.

L'atleta più veloce sarà colui che riuscirà a mantenere una velocità media più elevata per tutta la durata della performance sportiva.

Velocità Media						
Vasca 1 [m/s]	Vasca 2 [m/s]	Vasca 3 [m/s]	Vasca 4 [m/s]	Vasca 5 [m/s]	Vasca 6 [m/s]	Vasca 7 [m/s]
1,10	1,93	2,12	1,44	1,50	1,24	1,47

Dalla tabella è possibile osservare come il valore della velocità media nella vasca 3, vasca nuotata in progressione, è più alto del valore della velocità media calcolata nella vasca 2, vasca nuotata a velocità massima.

Pertanto tale valore non può essere ritenuto attendibile, perché nella curva della vasca 3 (Figura 15) ci sono molti dati rumorosi i quali vengono amplificati dalla derivata e vanno pertanto ad influenzare il calcolo della velocità media.

4. Conclusioni

Il programma scritto per l'analisi della performance sportiva dei nuotatori si è rivelato un ottimo strumento a supporto degli allenatori, ma anche degli atleti perché permette loro di avere dati interessanti sui quali lavorare al fine di migliorare le performance sportive.

Il metodo sul quale si è basato lo sviluppo del programma ha dimostrato essere, come si pensava, molto efficace; eliminando del tutto qualsiasi problematica inerente all'utilizzo dei marker.

In questo modo l'atleta non avrà nessun tipo di limite che provochi un calo della performance durante la ripresa.

I dati ricavati sono soggetti ad imperfezioni dimostrando però che l'approccio utilizzato è di valido supporto per gli allenatori.

Infatti l'allenatore esperto che ha valutato i dati ottenuti ha dichiarato che, per scopi puramente didattici, l'approccio utilizzato per analizzare i video è risultato più che soddisfacente, ed è quindi un ottimo punto di partenza dal quale è possibile approfondire lo studio in modo da rendere i dati ancora più precisi e il programma ancora più affidabile.

Inoltre, l'allenatore ha richiesto che, al fine di valutare al meglio le prestazioni dell'atleta, le riprese debbano essere fatte chiedendo al nuotatore di nuotare al massimo della propria velocità per tutta la durata della prova.

Così facendo è possibile osservare il rendimento dell'atleta durante la performance, apprezzandone ogni imperfezione permettendo così all'allenatore di analizzare i dati e lavorare sul miglioramento dei vari aspetti tecnici in modo da rendere impeccabile la performance sportiva.

5. Bibliografia

- [1] Ivo Ferretti. La Tecnica del Nuoto, ricerca presso il Centro Federale di Ostia, Biomeccanica: L'ALLENAMENTO DELLA TECNICA.
- [2] Cosoli, G.; Antognoli, L.; Veroli, V.; Scalise, L. Accuracy and precision of wearable devices for real-time monitoring of swimming athletes. *Sensors* 2022, 22, 4726.
- [3] Fani, H.; Mirlohi, A.; Hosseini, H.; Herperst, R. Swim stroke analytic: Front crawl pulling pose classification. In *Proceedings of the 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Athens, Greece, 7–10 October 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018.
- [4] Zecha, D.; Greif, T.; Lienhart, R. Swimmer detection and pose estimation for continuous stroke-rate determination. In *Proceedings of the Volume 8304, Multimedia on Mobile Devices 2012*, Burlingame, CA, USA, 22–26 January 2012.
- [5] Zecha, D.; Einfalt, M.; Eggert, C.; Lienhart, R. Kinematic pose rectification for performance analysis and retrieval in sports. In *Proceedings of the 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Salt Lake City, UT, USA, 18–22 June 2018.
- [6] Wilson BD. Development in video technology for coaching. *Sports Technology*. 2008; 1(1):
- [7] Thomas JR, Nelson JK. *Research methods in physical activity*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2001
- [8] Monnet T, Samson M, Bernard A, David L, Lacouture P. Measurement of three-dimensional hand kinematics during swimming with a motion capture system: a feasibility study. *Sports Engineering*.

- [9] Mooney R, Corley G, Godfrey A, Osborough C, Quinlan LR, ÓLaighin G. Application of video-based methods for competitive swimming analysis: a systematic review. *Sport Exerc Med Open J*. 2015;
- [10] Tor E, Ball K, Pease, D, Hopkins W. A comparison between single and multi-camera swimming race analysis systems. Paper presented at the International Society of Biomechanics in Sport, Melbourne, Australia. 2012.
- [11] Figueiredo P, Seifert L, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Individual profiles of spatio-temporal coordination in high intensity swimming. *Human Movement Science*. 2012; 31(5): 1200-1212.
- [12] Thow JL, Naemi R, Sanders RH. Comparison of modes of feedback on glide performance in swimming. *Journal of Sports Sciences*. 2011; 30(1): 43-52.
- [13] Atkison RR, Dickey JP, Dragunas A, Nolte V. Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human Movement Science*. 2014; 33: 298-311
- [14] Chollet D, Chaliès JC, Chatard JC. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*. 2000; 20: 54-59.
- [15] Nikodelis T, Kollias I, Hatzitaki V. Bilateral inter-arm coordination in freestyle swimming: Effect of skill level and swimming speed. *Journal of Sports Science*. 2005; 23(7): 737-745