



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

STUDIO DELLE TECNOLOGIE E DELLE METODOLOGIE DI MONITORAGGIO PER LA
VALUTAZIONE ACCURATA DELLE PRESTAZIONI DEI NUOTATORI

STUDY OF MONITORING TECHNOLOGIES AND METHODOLOGIES FOR THE ACCURATE
EVALUATION OF SWIMMERS' PERFORMANCE

Relatore:

Prof. Andrea Monteriù

Tesi di laurea di:

Alessandro Montagnoli

A.A. 2020/2021

SOMMARIO

INTRODUZIONE	2
CAPITOLO 1 - METODO BASATO SU VIDEO	4
CAPITOLO 2 - SENSORI INERZIALI NELLO STILE LIBERO	11
CAPITOLO 3 – STIMA DELLA TRAIETTORIA 3D ATTRAVERSO SISTEMI INERZIALI	17
CAPITOLO 4 - MISURAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI NUOTATORI CON DISABILITÀ	21
CAPITOLO 5 - LASER DOPPLER	24
CAPITOLO 6 - RELAZIONE TRA COSTO ENERGETICO E FLUTTUAZIONE DI VELOCITÀ DEI NUOTATORI	27
CONCLUSIONI	28
BIBLIOGRAFIA	29
PENSIERI PERSONALI	30

INTRODUZIONE

Nel corso degli anni il livello di competizione e il successo sportivo d'élite nelle varie discipline stanno diventando traguardi sempre più difficili da raggiungere. Per poter migliorare costantemente e velocemente nel proprio sport vengono utilizzate delle misurazioni di prestazioni. A causa del considerevole tempo necessario per raccogliere e analizzare manualmente i dati e ai mezzi inadeguati a disposizione nei centri sportivi, la ricerca ha avuto la tendenza a concentrarsi solo su un numero ridotto di atleti all'interno di aree di gioco predefinite. Poiché gli atleti tendono a compiere movimenti rapidi e imprevedibili non è ancora in commercio un sistema automatizzato adatto alla misurazione delle prestazioni sportive. Negli ultimi dieci anni la capacità di analisi e di elaborazione di grandi quantità di informazioni per il rilevamento del movimento sono migliorate notevolmente, grazie anche all'utilizzo di GPS [2] (Global Positioning System), di video ad alta velocità e di sensori inerziali. L'uso delle registrazioni video è interessante poiché è uno strumento versatile che funge da input per la post-elaborazione per una varietà di analisi. Vengono effettuate analisi quantitative e qualitative sulle azioni che compie l'atleta; tuttavia, spesso, queste misurazioni vengono eseguite manualmente o solo parzialmente con sistemi automatizzati, rendendo l'analisi costosa e dispendiosa in termini di tempo. Per questo motivo si sta cercando di creare algoritmi di più rapidi e più precisi attraverso il tracciamento di marker. La sfida consiste nell'ottenere sequenze video appropriate in modo da garantire misurazioni affidabili anche in ambienti disturbati, contenenti più persone che interagiscono. Il rilevamento automatico del movimento è stato utilizzato con successo al di fuori delle prestazioni sportive d'élite, in particolare per la sorveglianza dell'industria e della sicurezza. Il monitoraggio del movimento umano in un ambiente interno è di grande interesse nelle applicazioni di sorveglianza, in particolare nelle aree sensibili alla sicurezza come: banche, confini, aeroporti. È stata proposta anche una sorveglianza intelligente per misurare il flusso del traffico e monitorare le congestioni e i comportamenti. Per fare ciò è necessario seguire l'immagine all'interno di un grande volume di spazio e per un lungo periodo di tempo ma l'individuazione dell'identità dei soggetti, in questi casi, di solito non è necessaria. È necessaria, invece, nello sport. Per questo è molto più complesso rilevare i movimenti compiuti dagli atleti e in tale contesto si stanno studiando metodi sempre più veloci ed economici per poter arrivare a risultati eccellenti. Nel seguente testo si descriverà l'applicazione di questi metodi di studio al nuoto attraverso studi

su nuotatori esperti, sia normodotati che no. Si inizierà argomentando lo studio delle prestazioni tramite i metodi con sistemi video per poi proseguire con quello eseguito con strumentazione inerziale. Nel terzo capitolo si parlerà dei sistemi inerziali con traiettoria 3D mostrando un confronto con quelli 2D. Di seguito si tratteranno degli studi applicati a nuotatori con disabilità spiegando come cambiano le prestazioni da un'atleta all'altro. Nel quinto capitolo si svilupperà una descrizione del LASER DOPPLER. Si finirà con un confronto tra la quantità di energia utilizzata dai nuotatori per raggiungere le massime prestazioni e le velocità raggiunte. Ci saranno poi delle conclusioni e dei pensieri personali oltre alla bibliografia dei testi da cui sono state prese le argomentazioni trattate.

CAPITOLO 1 - METODO BASATO SU VIDEO

L'uso del video [1][4] nel nuoto agonistico è molto diffuso perché permette di utilizzare videocamere posizionate in molteplici modi per registrare tutto ciò che l'allenatore dal bordo della piscina non può vedere. Tutto ciò serve agli atleti per sviluppare una buona tecnica e soprattutto per ridurre il rischio di lesioni. L'esame tecnico di un nuotatore può essere effettuato utilizzando molti metodi: con tecniche quantitative o semiquantitative che rappresentano un mezzo oggettivo e deduttivo; con tecniche qualitative che consentono un'analisi più descrittiva e soggettiva. Sono coinvolte tre fasi: 1) selezione della telecamera e configurazione; 2) acquisizione video; 3) elaborazione e analisi dei dati.

- 1) È molto importante considerare il problema della rifrazione della luce e l'effetto di turbolenza dell'acqua come bolle e spruzzi che vengono generati dai movimenti del nuotatore. La rifrazione può provocare la distorsione di un'immagine quando la luce passa da un mezzo veloce (aria) a un mezzo lento (acqua). Alcuni parametri chiave da considerare quando si sceglie una telecamera includono la frequenza dei fotogrammi e la velocità dell'otturatore. La frequenza dei fotogrammi si riferisce al numero di singoli fotogrammi che comprendono ogni secondo di video, noto come FPS (fotogrammi). La velocità dell'otturatore si riferisce alla quantità di tempo a cui ciascun singolo fotogramma è esposto. Per ottenere la massima qualità dell'immagine è consigliabile una frequenza compresa tra 25-50 Hz e una velocità dell'otturatore compresa tra 1/350 e 1/750s. La telecamera può essere posizionata sottacqua o si può utilizzare un sistema a periscopio, in tal caso però gli specchi utilizzati devono essere di qualità molto alta per garantire una buona qualità dell'immagine, di conseguenza i sistemi periscopici possono risultare molto costosi. L'utilizzo di una singola telecamera consente una rapida valutazione delle prestazioni, più telecamere, al contrario, richiedono una configurazione e una sincronizzazione complessa. Generalmente vengono utilizzate da una a otto telecamere che catturano le immagini del nuotatore in senso sagittale, trasversale o frontale, o una combinazione di questi. Per ovviare al problema della rifrazione si può aumentare la distanza della telecamera scegliendo un livello di zoom appropriato.

Uno dei problemi che si possono riscontrare relativamente a queste impostazioni è il numero elevato di bolle che si formano intorno al nuotatore e che quindi possono causare problemi nel rilevamento del segnale (Figura 1).



Figura 1- Esempio di interferenza con bolle

Solitamente le videocamere per la ripresa da sott'acqua hanno diverse opzioni di posizionamento che possiamo dividere in: a) l'utilizzo di custodie impermeabili come il sistema oculare "shark"; b) l'utilizzo di un sistema di periscopio; c) posizionare le telecamere fuori dall'acqua e seguire i bagnanti mentre vanno anche sott'acqua (Figura2).

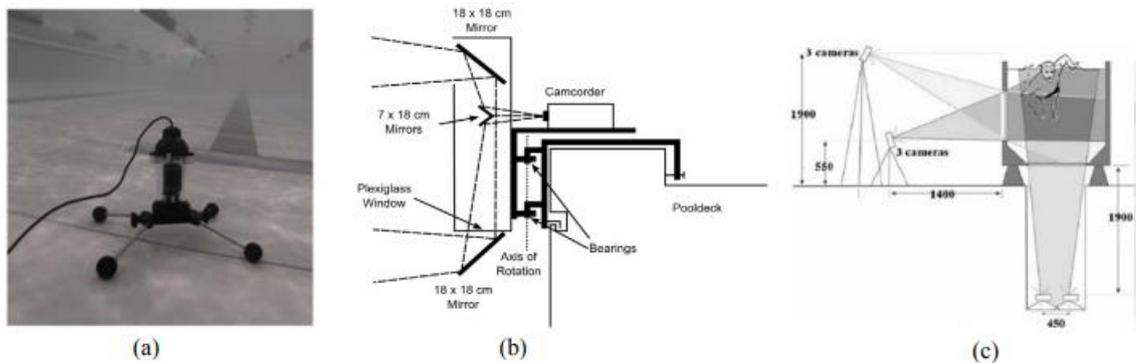


Figura 2- (a) custodie impermeabili; (b) periscopio; (c) telecamere

- 2) Il video richiede una grande quantità di spazio di archiviazione (riprese di una gara di 200 m della durata di 2-3 minuti occupano 250-300MB); pertanto bisogna avere la possibilità di archiviare grandi quantità di dati su un disco rigido fisico o in alternativa su cloud. In questo caso si richiede una grande quantità di tempo per la compressione, il caricamento e il download di informazioni quando ci sono grandi squadre di nuotatori coinvolti; in secondo luogo, l'allenatore deve avere un sistema che permetta un rapido recupero delle informazioni e questo può comportare indicizzazione e tagging manuale dei dati; ci sono già molti pacchetti software includono queste funzionalità. L'elaborazione dati necessita di procedure di digitalizzazione che mostrino le coordinate dei punti di riferimento del corpo attraverso un video registrato. La digitalizzazione deve avvenire con un alto grado di precisione e questo richiede una grande quantità di tempo nel caso in cui essa sia manuale. Quella automatica, al contrario, offre vantaggi in termini di tempo, ma dà luogo a margini di errore più ampi.
- 3) Generalmente l'allenatore conduce un'analisi tecnica utilizzando il video come ausilio alle proprie osservazioni, ovvero si utilizza il filmato per decidere l'azione più appropriata da intraprendere con ciascun atleta. Il video può inoltre essere applicato nell'uso dell'auto-modellazione. Auto-modellante è una tecnica di osservazione basata sulla preparazione di un video di un file modificato per mostrare un livello di prestazione maggiore di quello che l'atleta è attualmente in grado di sostenere. Il video subacqueo è importante tanto per l'allenatore, quanto per l'atleta, perché consente di visualizzare fotogramma per fotogramma per valutare la prestazione ed evidenziare i problemi che potrebbero sfuggire ad occhio nudo. Le riprese consentono di confrontare lo stesso nuotatore in diverse occasioni per verificare i cambiamenti nella tecnica dopo un periodo di allenamento o per effetto della fatica.

L'uso delle registrazioni video è interessante poiché è uno strumento versatile che funge da input per la post-elaborazione per una varietà di analisi. Con crescenti capacità e conoscenze digitali dell'elaborazione delle immagini, è possibile migliorare la raccolta dei dati basata su video. Poiché il rilevamento dei dati viene fatto spesso manualmente o soltanto parzialmente in maniera automatizzata, l'analisi risulta costosa e dispendiosa in termini di tempo. Le critiche all'utilizzo del video provengono sia dai ricercatori che dagli allenatori. Generalmente si incentrano sulla grande quantità di tempo che richiedono le procedure per l'acquisizione dei dati. La ricerca si sta concentrando quindi sulla possibilità di ridurre il tempo necessario per ottenere le informazioni tramite video e sull'automazione di molte laboriose procedure manuali coinvolte. Sistemi di tracciamento automatizzati utilizzano una serie di LED montati su un circuito stampato flessibile indossato dal nuotatore. Un altro sistema di tracciamento si basa sulla tecnica del sistema anatomico calibrato (CAST). Esso stima i punti di riferimento anatomici in base ai gradi di libertà articolari. Un altro approccio è un metodo di analisi 3D basato sull'estrazione della silhouette del nuotatore da un file contenente le immagini video della prestazione. Questo metodo mostra un'affidabilità simile agli approcci di digitalizzazione manuale. Sono necessarie però ulteriori indagini per valutare appieno la qualità e la fattibilità delle impostazioni applicate. Una criticità nell'applicazione di tali impostazioni è dovuta ai costi eccessivi delle rilevazioni. Pertanto, stanno cominciando ad emergere soluzioni più economiche come i dispositivi basati su sensori inerziali dei sistemi micro-elettro-meccanici (MEMS). Nell'ultimo decennio è aumentato l'uso di sensori inerziali per misurare la cinematica delle variabili nel nuoto. Tuttavia, i sensori inerziali sono affetti da rumore cosa che complica notevolmente il calcolo della velocità. Di seguito viene presentato un metodo basato su video per monitorare automaticamente le velocità istantanee di un nuotatore. Fotocamere singole sono state utilizzate per seguire un marker (LED) attaccato al corpo. Il metodo si ispira alle tecniche di tracciamento delle particelle, tradizionalmente utilizzate nel campo della dinamica dei fluidi, per misurare le velocità locali di un flusso in un fluido. La struttura di questo studio si concentra sulla necessità di misurare le variazioni di velocità intra-cicliche (IVV) e i profili di velocità in un esperimento che include molte prove di nuoto. Il metodo più utilizzato per accedere alla velocità istantanea di un nuotatore è un tachimetro. Un cavo sottile e non allungabile viene collegato alla vita di un nuotatore. La velocità di rotazione viene misurata quando si tira il cavo mentre si nuota. Tale metodo offre però solo informazioni monodimensionali e limita il movimento del nuotatore.

L'esperimento è stato condotto nell'allenamento indoor di 50 m nella piscina dello stadio del nuoto Pieter van den Hoogenband presso Innosportlab a Eindhoven, Paesi Bassi, che ha un sistema di telecamere posizionate lungo la lunghezza della piscina. Il nuotatore indossava un costume da bagno, con una piccola presa sul fianco contenente un LED impermeabile. Si presumeva che la velocità dell'anca fornisse una buona rappresentazione del profilo della velocità di avanzamento. Il movimento del nuotatore è stato controllato da quattro telecamere situate nella parete laterale della piscina a profondità di 0,55 m sotto la superficie dell'acqua, nelle posizioni 2.5, 5, 10 e 15 m dall'inizio della corsia (Figura 3).

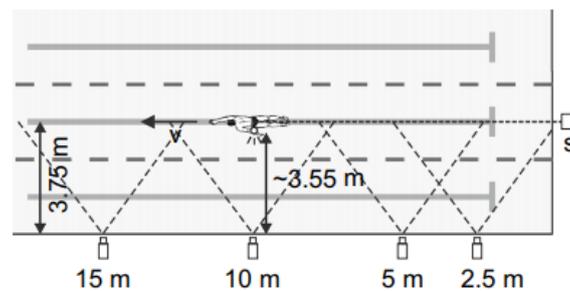


Figura 3- Distanze per l'esperimento

Il nuotatore è stato incaricato di seguire la linea sul fondo della piscina a 3,75 m dalla parete laterale. Le posizioni, la velocità orizzontale e verticale del LED sono state ottenute utilizzando un algoritmo di tracciamento automatizzato, che è stato programmato in Matlab. Le telecamere hanno catturato il movimento del nuotatore che è stato incaricato di nuotare per 25 m ciascun tipo di stile per due volte (farfalla, dorso, rana e stile libero). Per consentire il confronto del profilo di velocità ottenuta dal LED, la velocità del nuotatore è stata misurata anche da un tachimetro attaccato alla vita del nuotatore con una corda. I dati del tachimetro sono stati acquisiti con una frequenza di campionamento di 32,5 Hz utilizzando il software di analisi del nuoto sviluppato da Swimspotec. In questo esperimento 2D, con un LED sull'anca, non ci sono difficoltà con il nuoto a rana, ma in tutti gli altri stili, la mano potrebbe bloccare il LED, che potrebbe determinare un calcolo della velocità incompleto.

L'output dell'algorithmo di tracciamento è un vettore contenente i numeri di fotogramma e le posizioni orizzontali e verticali in coordinate pixel per ogni singola telecamera. Questi vettori sono stati convertiti in posizioni del mondo reale (m) utilizzando la calibrazione. In dettaglio le velocità sono state calcolate utilizzando la formula:

$$V_n = (X_n - X_{n-1})f \quad (1)$$

Le impostazioni dell'algorithmo di tracciamento LED sono state mantenute costanti durante l'analisi di diverse registrazioni. È stata selezionata manualmente soltanto la posizione di partenza del LED, nelle fasi successive il tracciamento è avvenuto in maniera automatica.

I calcoli sono stati eseguiti con MATLAB e si è osservato che la durata dell'analisi del passaggio del nuotatore attraverso tutti i fotogrammi di una singola telecamera era dell'ordine di 30 secondi.

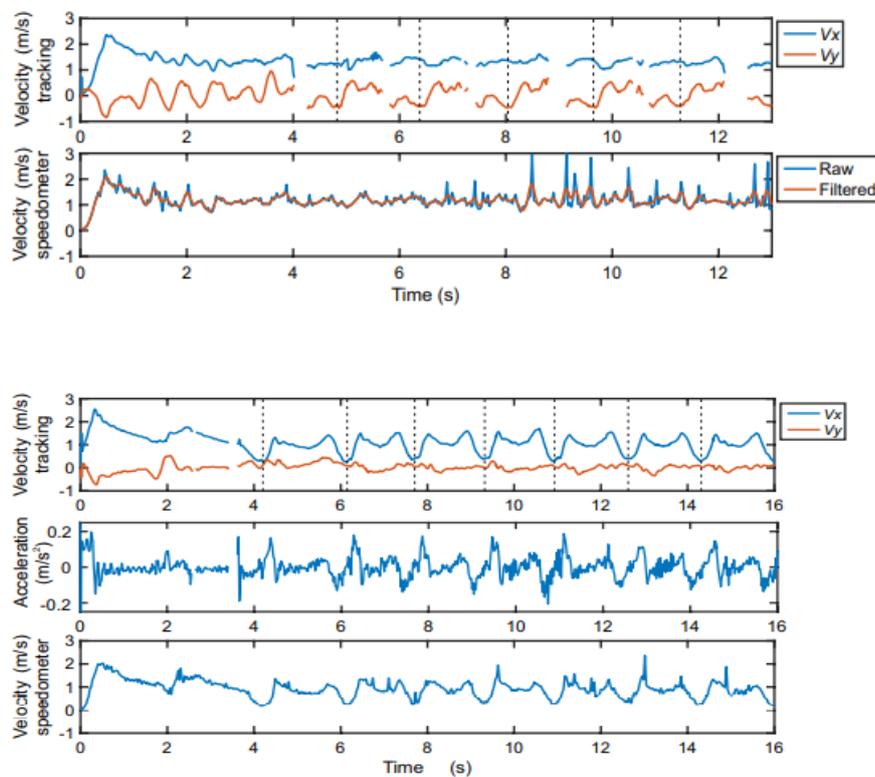


Figura 4- sopra è riportata una prova a stile libero; sotto, una a rana

Nella figura 4 sono mostrati: un profilo di velocità di una prova a rana (a) e una prova di stile libero (b); vengono confrontati i dati ottenuti col rilevamento a LED e quelli misurati col tachimetro. Il segnale grezzo del tachimetro degrada, cioè diventa più rumoroso, quando la distanza dal tachimetro aumenta, per questo motivo è importante disporre dei dati di tracciamento LED. I vantaggi di questo tipo di monitoraggio rispetto a un tachimetro consistono in un approccio visivo che si basa sulla distinzione tra diverse componenti di velocità, sulla raccolta di dati di posizione e di accelerazione e, inoltre, con questo sistema, i nuotatori non sono disturbati dallo stesso dispositivo di misurazione. L'unico requisito è che la piscina deve essere attrezzata con un apposito sistema di telecamere, un computer veloce e LED adatti. L'approccio in questo studio è stato ispirato dalle tecniche di tracciamento delle particelle (PTV) utilizzato nel campo della fluidodinamica sperimentale, che è un metodo lagrangiano per misurare lo spostamento di piccole particelle sommerse attraverso fotogrammi successivi a determinare le velocità delle particelle:

$$V(x, t) = \Delta x / \Delta t \quad (2)$$

Considerando i successi della tecnica PTV nel campo della fluidodinamica sperimentale è interessante l'applicazione di queste idee per il tracciamento del movimento umano.

CAPITOLO 2 - SENSORI INERZIALI NELLO STILE LIBERO

Lo studio della velocità dei nuotatori durante l'allenamento e la competizione è di grande interesse per gli allenatori. Gli accelerometri [6] possono fornire con precisione la frequenza delle bracciate e i tempi ottenuti in ciascuna vasca. Per osservare l'efficacia degli accelerometri è stato condotto uno studio con una piccola piattaforma di sensori inerziali che è stata utilizzata per studiare il movimento dei nuotatori ed è stata impostata per la registrazione dati a 100 Hz. L'esperimento è stato condotto in una piscina coperta con il sensore attaccato all'osso sacro del nuotatore (Figura 5).

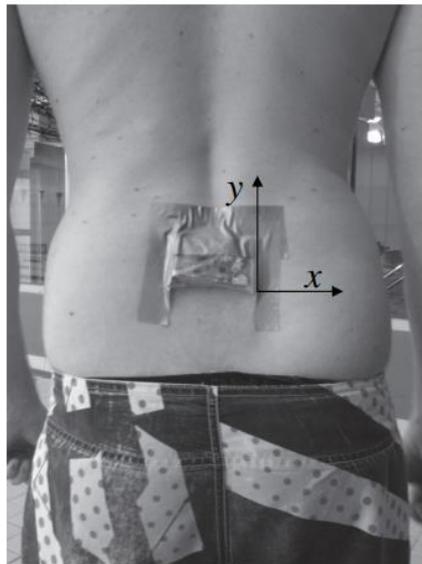


Figura 5- Telecamera a tre assi

Si tratta di un misuratore di velocità (Speed Probe 5000 – SP5000) attaccato alla tuta del nuotatore con una videocamera che cattura il movimento dell'atleta per tutto il giro. È un'unità di registrazione dell'accelerometro a tre assi dove l'asse y rappresenta l'accelerazione nella direzione del nuoto, l'asse x il medio-laterale e l'asse z la direzione verticale.

L'accelerazione totale (a_{tot}) è stata calcolata attraverso questa formula:

$$a_{tot} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 a_i^2} \quad (3)$$

Lo studio ha preso in considerazione l'allenamento di un nuotatore di 25 anni, eseguito in una piscina interna riscaldata di 25m di lunghezza. Dopo una fase di riscaldamento è stato chiesto al nuotatore di eseguire più vasche singole a stile libero e a diverse velocità. Dalle misurazioni sono state ricavate le tre componenti dell'accelerazione a_x , a_y , a_z (che corrispondono ad a_1 , a_2 , a_3 nella formula precedente) e un'accelerazione totale (a_{tot}), mostrate nella Figura 6.

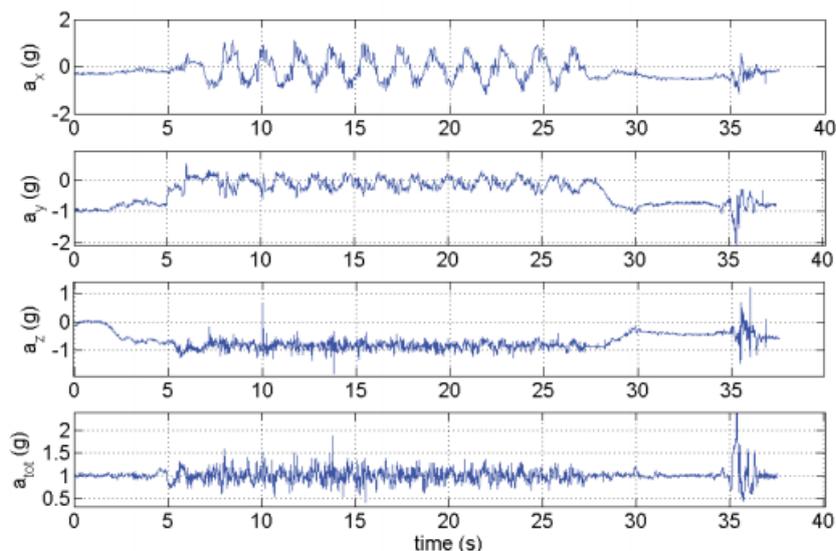


Figura 6- Componenti dell'accelerazione

Il rollio del corpo può essere visto sull'asse x e l'accelerazione sull'asse y. Poiché l'accelerometro cambia orientamento durante il nuoto bisogna utilizzare un filtro con una frequenza di 0,5 Hz.

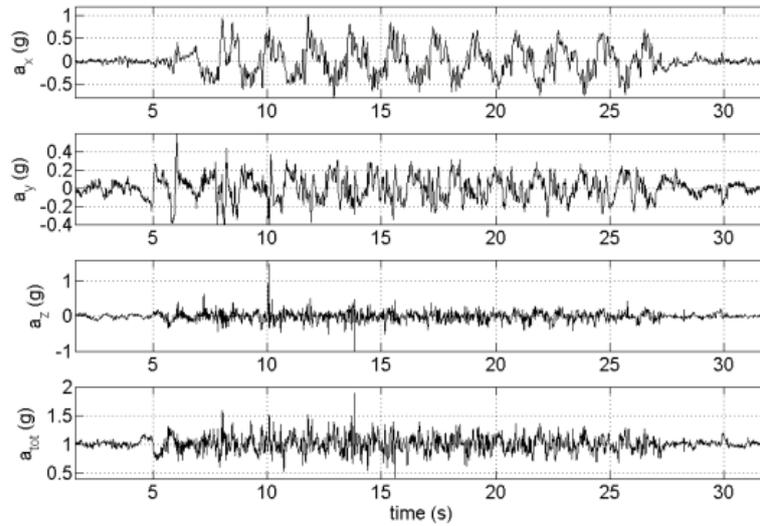


Figura 7- Dati accelerometrici filtrati

Nella Figura 7 vengono mostrati i dati di accelerazione filtrati utilizzati. Per calcolare la velocità sono stati utilizzati due approcci: il primo si basa sulla accelerazione (a_y); il secondo, invece, utilizza l'accelerazione totale (a_{tot}).

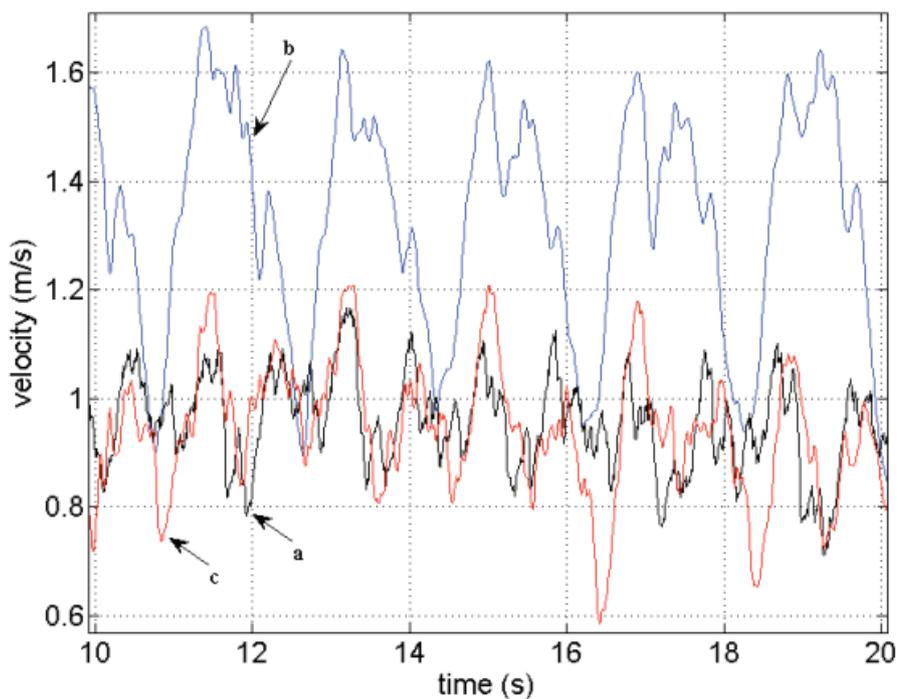


Figura 8- Relazione tra varie velocità

La Figura 8 mette in relazione: il dispositivo collegato (nero), la velocità calcolata con la direzione di avanzamento (blu) e la velocità calcolata con l'accelerazione totale (rosso). In figura viene mostrato come ci sia una variazione di velocità del $\pm 20\%$ per il nuoto a stile libero. I risultati mostrano una variazione di velocità di $\pm 8,9\%$ per SP5000, $\pm 15,6\%$ per l'integrazione della velocità y e $\pm 12,6\%$ per l'integrazione della velocità a_{tot} . Questa ricerca ha dimostrato che la velocità si può desumere dagli accelerometri, ma servono molti altri studi per risolvere i problemi che si sono incontrati, tra cui il rumore che si ha nelle misurazioni tramite questi metodi che interferisce e porta ad un risultato non troppo accurato.

Gli accelerometri possono essere utilizzati nello studio delle prestazioni dei nuotatori come sensori inerziali [8]. Questi ultimi sono piccoli, leggeri, facili da usare e possono essere utilizzati dall'atleta senza alcuna conoscenza tecnica. Questi non ingombrano o limitano l'atleta durante l'allenamento e forniscono l'opportunità di monitorare tutte le sessioni. Gli accelerometri utilizzati nei sensori inerziali sono principalmente accelerometri di sistemi micromeccanici (MEMS). Di seguito viene riportata una ricerca che mira a sviluppare un piccolo sensore inerziale indossabile e gli algoritmi associati necessari per la misurazione della velocità.

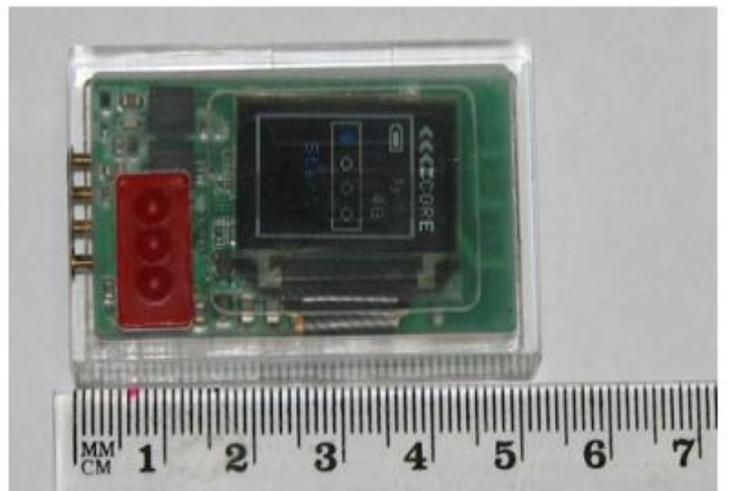


Figura 9- sensore inerziale

I dati sono stati raccolti utilizzando un sensore inerziale appositamente costruito (Figura 9) che offre un accelerometro a tre assi, un giroscopio a tre assi, un ricetrasmittitore radio da 2,4 GHz, una scheda micro-SD da 1GB, un display per l'interazione, una tastiera, una batteria ricaricabile, una porta USB per il download dei file e un microprocessore. Questo sensore impermeabile ha le dimensioni 53x33x10 mm, una massa di 20 gr. ed è stato impostato per registrare i dati a 100 Hz. Hanno preso parte all'esperimento 17 nuotatori di cui 8 hanno nuotato in una piscina standard all'aperto, mentre gli altri 9 in una piscina al coperto. I dati registrati sul sensore inerziale sono stati scaricati utilizzando MATLAB e i dati di accelerazione sono stati registrati calibrando e allineando tutti gli assi parallelamente alla gravità terrestre. È stata calcolata, poi, la velocità in un particolare momento $V(t)$ utilizzando l'accelerazione a_{tot} :

$$V(t) = V(t - 1) + \Delta t \frac{a(t) + a(t+1)}{2} \quad (4)$$

dove $V(0) = 0$, $a(t)$ e $a(t + 1)$ sono valori di accelerazione adiacenti e Δt il tempo tra le due misurazioni che è rappresentato da $1/\text{frequenza di campionamento del sensore}$. Utilizzando le tecniche sopra descritte sono state misurate le velocità medie dei 17 nuotatori.

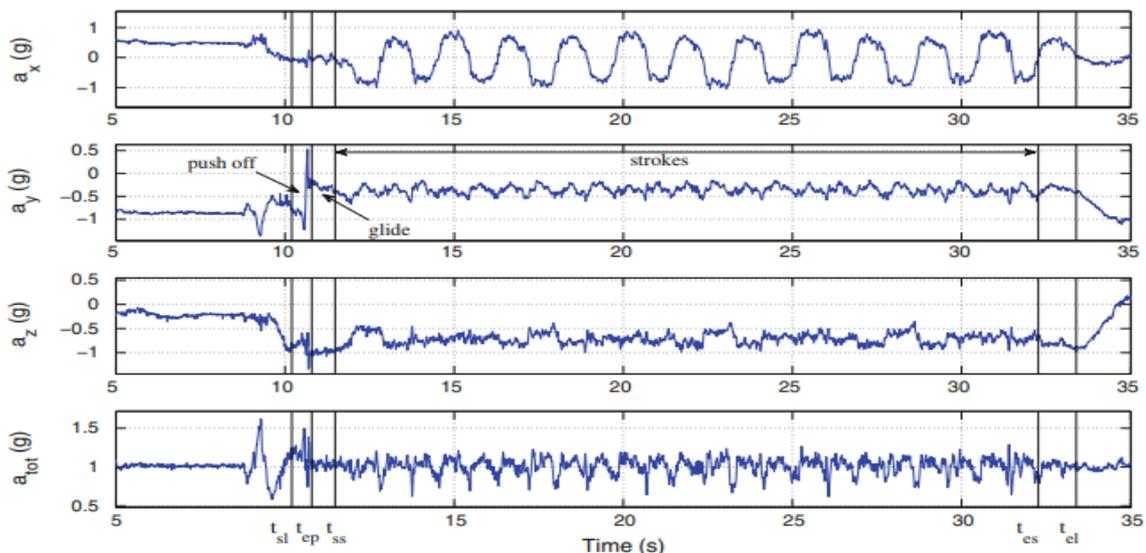


Figura 10- Rappresentazione delle accelerazioni nei vari step

I risultati di tutti gli atleti sono presentati nella Figura 10, nella quale vengono anche indicate: t_{sl} che rappresenta l'inizio del giro, t_{ep} , ovvero la fine del push-off, il t_{ss} , cioè l'inizio della fase di nuoto, il t_{es} , la fine della fase di nuoto e il t_{el} cioè la fine del giro. Il profilo di velocità del sensore, calcolato durante la nuotata, mostra una buona corrispondenza con il profilo di velocità di SP5000. È stato utilizzato lo stile libero in entrambi gli esperimenti in quanto ha una velocità più costante rispetto agli altri stili di nuoto.

CAPITOLO 3 – STIMA DELLA TRAIETTORIA 3D ATTRAVERSO SISTEMI INERZIALI

È possibile espandere la tecnica della misurazione tramite video verso il multiplo Tracciamento LED per un'analisi 3D [7] completa. Questo semplificherebbe il movimento 3D basato su video e ci fornirebbe un'analisi della coordinazione che ci permetterebbe di capire la relazione tra le azioni del corpo e l'accelerazione. In combinazione con strumenti di realtà aumentata, il monitoraggio automatico dei LED può diventare un potente metodo interattivo per ottimizzare gli interventi nell'allenamento. Il sistema di tracciamento LED, pur perdendo a volte temporaneamente il segnale (cosa che può essere evitata utilizzando un maggior numero di telecamere) dà origine ad un algoritmo che è in grado di fornire rapidamente i profili di velocità negli esperimenti. Il video consente a un allenatore di rivedere, riflettere e valutare lo sviluppo di molti aspetti che riguardano la preparazione atletica di un nuotatore e può essere utilizzato per un'indagine sia qualitativa che quantitativa. Il nuoto, rispetto ad altri sport, necessita di un tempo e di un costo maggiori per l'analisi dei dati e per l'utilizzo di attrezzature necessarie nelle riprese subacquee. Il video consente di catturare il movimento sia in 2D che in 3D per uno studio approfondito e combinato con altri strumenti di misurazione. La sua applicazione, in seguito ai progressi nella risoluzione delle immagini e nella tecnologia software, potrà essere estesa in futuro anche al di fuori della formazione sportiva d'élite. Si è notato che le azioni della parte superiore del corpo nella scansione frontale producono il maggiore contributo allo spostamento in avanti. Infatti, la traiettoria del braccio è tipicamente segmentata in quattro fasi usando la posizione della mano rispetto al corpo del nuotatore o alla superficie dell'acqua come identificazione delle fasi distinte. La durata delle diverse fasi varia da un nuotatore all'altro e molte indagini hanno dimostrato che gli atleti regolano il tempo trascorso in ciascuna delle fasi per ottenere prestazioni differenti. In particolare, la durata della fase di ingresso ha la variazione maggiore dovuta alla specializzazione del nuotatore. Il principale metodo di misurazione del movimento del braccio del nuotatore per il rilevamento delle 4 fasi è il video in 3D.

Nonostante l'affidabilità e la validità, questo metodo presenta alcune limitazioni che costringono l'allenatore a preferire di più analisi video 2D tra cui: i costi delle telecamere sono elevati; il processo automatico dell'acquisizione dei dati è molto complesso; il trattamento dei dati richiede tempi lunghi, limitando il feedback diretto e l'apprendimento del nuotatore; l'ambiente acquatico influisce negativamente sull'accuratezza del segnale. Per superare i limiti del movimento basato su video le analisi effettuate con le moderne tecnologie indossabili hanno introdotto un approccio alternativo basato su sistemi inerziali e unità di misura magnetiche (IMMU). Gli IMMU hanno dimensioni ridotte, trasmissione dei dati tramite il wireless, offrono un'analisi delle prestazioni di breve durata, non richiedono calibrazioni complesse e possono essere indossati facilmente. Questi sensori possono essere utilizzati facilmente per l'analisi ed il monitoraggio dell'atleta in tempo reale durante tutta la prova di nuoto. Pertanto, le IMMU consentono di raccogliere informazioni aggiuntive sulla variabilità dinamiche di coordinazione dei nuotatori e sulle adattabilità ai vincoli circostanti. Per queste ragioni, negli ultimi dieci anni alcuni gruppi di ricerca hanno diretto l'interesse scientifico verso l'analisi biomeccanica del nuotatore che utilizza IMMU. Considerando la rilevazione delle fasi di spostamento attraverso questi sensori, Dadashi e Callaway [7] hanno proposto due algoritmi basati sulla velocità angolare dell'avambraccio e sulla posizione di rollio del corpo. Nonostante la loro validità riportata a confronto con un sistema basato su video, potrebbero esserci criticità per il rilevamento della corsa del nuotatore. Pertanto, l'analisi del movimento che avviene sott'acqua grazie all'utilizzo della tecnologia IMMU basata sulla posizione spaziale potrebbe aumentare e completare la quantità di informazioni disponibili per l'analisi delle prestazioni del nuotatore. Abbiamo ipotizzato che i dati che individuano la posizione della mano del nuotatore potrebbero portare a fasi di corsa rilevate più accuratamente, considerando una specifica tecnica dell'atleta. Di seguito viene riportato uno studio effettuato sulle misurazioni effettuate grazie ai sensori IMMU. Si tratta di un approccio che consente di riconoscere automaticamente tutte le fasi della corsa attraverso la traiettoria tridimensionale (3D) del polso. Il protocollo sperimentale è stato suddiviso in due fasi: A) la convalida della stima della traiettoria del polso 3D nel nuoto grazie ad una scansione frontale simulata a terra utilizzando molti IMMU; B) la convalida delle fasi temporali della stima delle prestazioni attraverso la traiettoria del polso 3D nello stile libero. La convalida è stata eseguita utilizzando analisi video 3D grazie alla ricostruzione in termini di spazio e tempo degli eventi della fase A e B.

Quattordici nuotatori maschi di livello nazionale hanno partecipato allo studio; sono stati eseguiti esperimenti sull'allenamento settimanale dei nuotatori. I tempi migliori per lo stile libero sui 25 metri sono stati $11,3 \pm 0,2$ s. Il progetto è stato approvato dall'Università locale e condotto secondo l'etica standard della Dichiarazione di Helsinki. Nove di questi partecipanti hanno eseguito una misurazione delle prestazioni solamente grazie a misurazioni video mentre i restanti cinque hanno svolto anche un lavoro con i sensori del polso. Ciascuno dei cinque nuotatori coinvolti ha eseguito 20 secondi di prova di stile libero. È stato chiesto agli atleti, sdraiati su una panchina, di nuotare come avrebbero fatto in piscina. Hanno effettuato 150 cicli completi di movimento del braccio destro e sinistro. La raccolta dei dati è stata eseguita utilizzando un sistema IMMU dotato di: accelerometri triassiali, giroscopi triassiali e magnetometri triassiali. Per confrontare i dati, 5 cluster (quattro marker e un IMMU) sono stati fissati al nuotatore. Sono state eseguite calibrazioni e calcolate le coordinate 3D del polso. In seguito, sono state calcolate tre diverse traiettorie del polso attraverso: 1) stereofotogrammetria 3D basata sul marker del sistema; 2) i dati studiati applicando la catena cinematica del modello (KMS); 3) i dati IMMU ottenuti elaborando dati con l'algoritmo di Madgwick. Quattordici nuotatori hanno preso parte all'esperimento per un numero di bracciate complessivo di 146. La classificazione delle fasi delle bracciate viene descritta nella Figura 11.

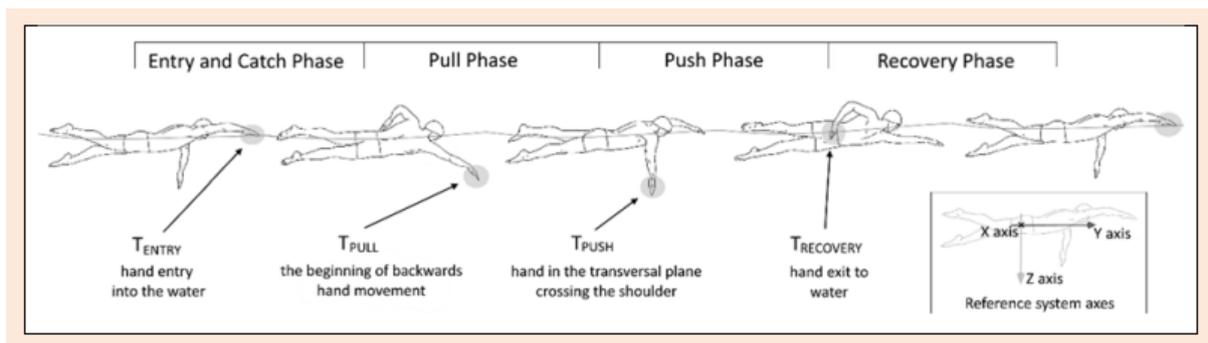


Figura 11- Fasi della bracciata del nuotatore

Dall'esperimento è stato compreso che un algoritmo per il rilevamento automatico delle fasi delle bracciate era migliore rispetto all'analisi video.

I risultati supportano l'uso di IMMU indossabili per il rilevamento automatico delle fasi di movimento del polso. In questo studio, la precisione della stima delle coordinate del polso è stata valutata attraverso un confronto con il sistema stereo-fotogrammetrico. I dati rilevati mostravano errori critici per la stima della traiettoria della mano, ma si è capito che i movimenti del polso sono legati alla traiettoria che esso compie e non solo alla posizione assoluta rispetto al tronco. Per questo motivo, grazie a studi precedenti effettuati con i metodi basati sul video, si è notato che i dati acquisiti sono abbastanza precisi e coerenti. In generale, i nuotatori sono stati caratterizzati da fasi di trazione più brevi e di spinta più lunghe. Sebbene questo studio mostri la validità degli algoritmi per il rilevamento dei movimenti, è necessario migliorare l'accuratezza relativa alla posizione spaziale per l'analisi futura dei parametri cinematici del polso. Nella stima delle traiettorie del polso in 3D potrebbe esserci il problema della rotazione del corpo. Una possibile soluzione potrebbe tenere conto del movimento delle articolazioni aggiungendo un IMMU alla scapola. Tuttavia, questa soluzione sarebbe in contrasto con la vestibilità del sistema. La decisione di eseguire una convalida della traiettoria del polso 3D non direttamente nell'ambiente acquatico è dovuta al meno accurato processo di tracciamento dovuto a bolle e turbolenze dell'acqua. Il modello biomeccanico non considera il segmento della mano, per garantire la stabilità delle misurazioni IMMU e a non compromettere la sensibilità all'acqua della mano del nuotatore. Tuttavia, se i limiti sulla precisione dell'articolazione del polso sarà superata si potrà aumentare l'affidabilità della nostra rilevazione. In quest'ultimo caso il modello sarà più completo poiché le forze propulsive del nuoto dipendono fortemente dall'orientamento della mano. La precisione ottenuta può essere considerata sufficiente a soddisfare le finalità di allenamento di allenatori e atleti. Di fatto, queste informazioni possono essere utilizzate per l'analisi dell'azione del braccio durante la sessione di allenamento e per il movimento prevede l'estrazione di entrambi i bracci sinistro e destro indipendentemente. La variabilità intra-ciclica delle bracciate e la variabilità corsa per corsa delle fasi del braccio può essere analizzata dagli allenatori utilizzando IMMU indossabili facilmente e completamente indipendenti dalle analisi video. In conclusione, viene dimostrato che si può utilizzare una misurazione tramite gli IMMU per rilevare i movimenti del polso del nuotatore grazie ad un confronto con i metodi basati sul video.

CAPITOLO 4 - MISURAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI NUOTATORI CON DISABILITÀ

Le misurazioni [9] biomeccaniche e i sistemi di coordinazione sono strumenti utili per valutare le prestazioni del nuoto. Per quanto riguarda il nuoto paralimpico, la funzione e la tecnica rendono ancor più complesse queste misurazioni. Grazie agli studi effettuati su atleti paralimpici si è notato che la velocità di nuoto e la lunghezza della bracciata aumentano con un minore impatto della disabilità fisica, visiva e intellettuale sull'esecuzione di specifiche attività. La frequenza delle bracciate è più stabile in tutte le classi sportive rispetto alla velocità di nuoto e alla lunghezza della bracciata. La maggior parte dei nuotatori con disabilità fisiche adotta il modello di coordinamento del recupero. La frequenza è responsabile della maggior parte della variazione di velocità intra-cicliche nei nuotatori con amputazioni o malformazioni degli arti superiori. Grazie a questi studi si è capito che i nuotatori con disabilità dovrebbero lavorare di più sulla frequenza delle bracciate, con piccole diminuzioni della lunghezza delle bracciate per raggiungere velocità di nuoto più elevate e variazioni di velocità inferiori.

Gli studi principalmente interessati sono i seguenti:

- L'esercizio acquatico è tra le modalità di attività fisica più comuni per i bambini con disturbi neuromuscolari e dello sviluppo neurologico. Tuttavia, le misure di esito che dovrebbero essere utilizzate di routine dai terapeuti che lavorano in questo specifico contesto sanitario non sono state ampiamente studiate. Lo scopo del primo studio [10] è quello di identificare e confrontare il contenuto delle misure di esito utilizzate nella fisioterapia acquatica per bambini, utilizzando come struttura la Classificazione internazionale del funzionamento, della disabilità e della salute (ICF). È stata utilizzata una revisione della letteratura per identificare le misure di esito del funzionamento acquatico per i bambini con disturbi neuromuscolari e dello sviluppo neurologico. Il confronto dei contenuti di tali risultati è stato collegato all'ICF seguendo le linee guida di collegamento e sono state utilizzate metriche relative ai contenuti per analizzarli. Sono state identificate quattro misure di esito che contenevano un totale di 116 concetti significativi ed erano collegate a 35 categorie ICF di secondo livello. Il maggior numero di elementi valutati riguarda le categorie di attività e di partecipazione.

Le misurazioni di esito identificate hanno mostrato omogeneità rispetto al fondamento teorico; tuttavia, sono state riscontrate alcune differenze in termini di analisi dei contenuti.

- Il secondo studio [11] ha esaminato l'effetto della velocità di nuoto sulla coordinazione tra le braccia e le interrelazioni tra velocità di nuoto, coordinazione tra le braccia e altri parametri della bracciata, in un gruppo di nuotatori con amputazione del braccio unilaterale. Tredici nuotatori altamente addestrati sono stati filmati sott'acqua durante una serie di prove di scansione frontale di 25 m a velocità crescente. Il coordinamento del braccio è stato quantificato utilizzando una versione adattata dell'Indice di coordinamento. La coordinazione tra le braccia dei nuotatori amputati non è cambiata poiché la velocità di nuoto è stata aumentata fino al massimo. I nuotatori hanno mostrato una coordinazione di recupero del braccio affetto, rispetto al braccio non affetto, significativamente maggiore. Durante lo sprint, i nuotatori più veloci utilizzano frequenze di bracciata più elevate e un minor recupero del braccio interessato rispetto ai nuotatori più lenti. Gli amputati unilaterali del braccio hanno utilizzato una strategia asimmetrica per coordinare il braccio affetto rispetto al braccio non affetto per mantenere stabile la ripetizione del ciclo complessivo della bracciata. Durante lo sprint, il raggiungimento di un'elevata frequenza di corsa è influenzato principalmente dal tempo in cui il braccio interessato viene tenuto in una posizione stazionaria davanti al corpo prima della bracciata. Ridurre questo ritardo sembra essere vantaggioso per prestazioni di nuoto di successo.
- L'obiettivo del terzo studio [12], infine, è stato quello di valutare la simmetria della coordinazione temporale nelle fasi del movimento e le loro caratteristiche dimensionali tra nuotatori di diversi livelli di abilità e nuotatori disabili. Sebbene il nuoto sia riconosciuto come uno sport simmetrico, l'equivalenza tra ciascun lato del corpo non può essere assicurata. Nuotatori con disabilità fisiche e motorie possono presentare asimmetrie ancora più pronunciate.

Quarantuno nuotatori hanno eseguito un massimo di 50 m di prova di stile libero mentre sono stati registrati da sei telecamere sincronizzate (quattro subacquee e due sopra l'acqua) per l'analisi delle fasi della corsa, delle dimensioni della corsa (ampiezza anteroposteriore, medio laterale e verticale), indice di coordinazione e velocità della mano. L'indice di simmetria è stato calcolato dalla differenza tra i tratti destro e sinistro. I confronti sono stati effettuati utilizzando il test di Kruskal-Wallis [12] e i confronti multivariati sono stati effettuati utilizzando il test di Mann-Whitney [12]. È stata notata asimmetria nelle ampiezze anteroposteriore e medio laterale della corsa, indice di coordinazione, durata della fase di recupero, ciascuna delle fasi subacquee e nella velocità della mano durante la fase di discesa, indipendentemente dal livello di abilità o menomazione. I nuotatori disabili hanno anche mostrato asimmetria nell'ampiezza verticale della bracciata, nonché nella velocità di immersione ed emersione. Le ragioni di queste asimmetrie possono determinare la preferenza per la respirazione unilaterale, lo squilibrio delle forze tra coppie di muscoli omologhi e il deficit del controllo motorio. L'allenamento con movimenti stereotipati può spiegare la somiglianza delle asimmetrie tra i diversi gruppi di nuotatori.

CAPITOLO 5 - LASER DOPPLER

L'LDV [3] (Laser Doppler Velocimetry) è un sistema utilizzato nella meccanica di fluidi per misurare la velocità delle particelle. Esso consente misurazioni senza contatto e un'eccellente risoluzione spaziale e ha una risposta lineare. Presenta però due principali inconvenienti: è un sistema molto complesso che richiede un notevole know-how per un uso efficiente e risulta particolarmente costoso.

Il principio di LDV consiste in due raggi laser, incrociati e focalizzati, che definiscono la misura del volume in cui appare un modello di interferenza fatto di frange brillanti e frange scure. La spaziatura tra due frange brillanti adiacenti dipende dalla lunghezza d'onda λ del laser e dall'angolo θ :

$$i = \frac{\lambda}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (5)$$

Una particella, abbastanza piccola da seguire il movimento del fluido, ma abbastanza grande da disperdere in modo significativo la luce, attraversa questo volume. Quindi misurare la velocità della particella porta alla misurazione del flusso. La luce diffusa viene quindi rilevata da un fotorilevatore e la sua intensità viene modulata con una frequenza pari a:

$$F_D = \frac{V}{i} = DV = V \frac{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\lambda} \quad (6)$$

dove V è la componente del vettore velocità perpendicolare alle frange. Viene utilizzato un laser con una lunghezza d'onda visibile di 650 nm e una potenza di uscita di 1mW. La distanza di misurazione è di circa 44 mm con un angolo tra i raggi pari a 4,9°. La spaziatura delle frange è quindi pari a 7,61 μm . La luce diffusa è raccolta attraverso una fibra ottica. Infine, questo sensore è installato su un banco di prova idraulico verticale per misurare la velocità nell'intervallo di 10-80 mm/s. i valori corrispondono alle frequenze Doppler comprese tra circa 1000 Hz e 8400 Hz.

Il segnale elettrico fornito dal foto-rilevatore può essere scritto come:

$$s(t) = A(t)\{M + \cos [2\pi Dx(t)]\} \quad (7)$$

In questa equazione, $A(t)$ e $x(t)$ rappresentano rispettivamente la magnitudine e la posizione della particella all'istante t , con:

$$A(t) = Ke^{-\{\beta x(t)\}^2} \quad (8)$$

dove K rappresenta l'ampiezza massima di $s(t)$ e $1/\beta$ definisce l'ampiezza del volume della particella e t_0 denota l'istante di tempo in cui la particella raggiunge il centro del volume di misurazione. Nella Equazione (7) la costante M è data dalla differenza tra le tensioni di entrambi i fasci. Quindi, il segnale Doppler è più o meno un'onda sinusoidale con ampiezza variabile nel tempo; per esempio, nella Figura 12 viene espresso un sistema reale di segnale Doppler nel caso di una velocità di 60-mm/s.

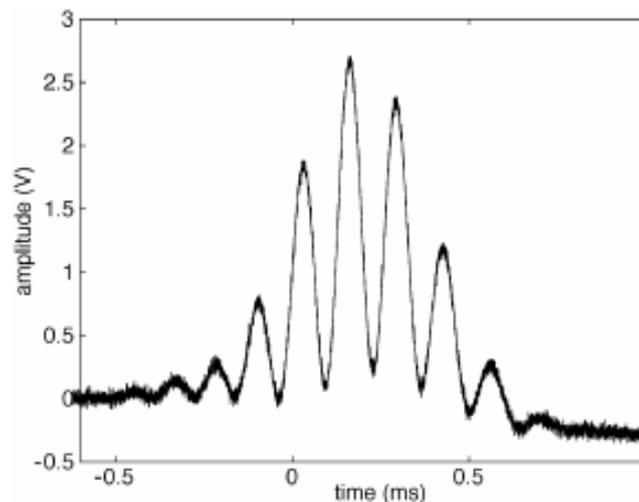


Figura 12 - Sistema reale di segnale Doppler

La stima della velocità è basata su tre fasi: 1) un dispositivo utilizza la componente a bassa frequenza per rilevare la presenza di una particella nel volume di misurazione; 2) il PLL (Phase Locked Loop) monitora il segnale d'ingresso. Evidenzia ogni leggera variazione tra la frequenza del segnale ricevuto e la frequenza della tensione interna (VCO). Questa differenza agisce come segnale di errore e rappresenta la frequenza Doppler; 3) un sistema di elaborazione permette di estrarre la velocità V .

Nella Figura 13 vengono riportati: il segnale doppler (a), il segnale in uscita del PLL, $y(t)$ (b), il segnale in uscita del rivelatore di inviluppo $r(t)$ (c) ed infine la stima della velocità $V(d)$.

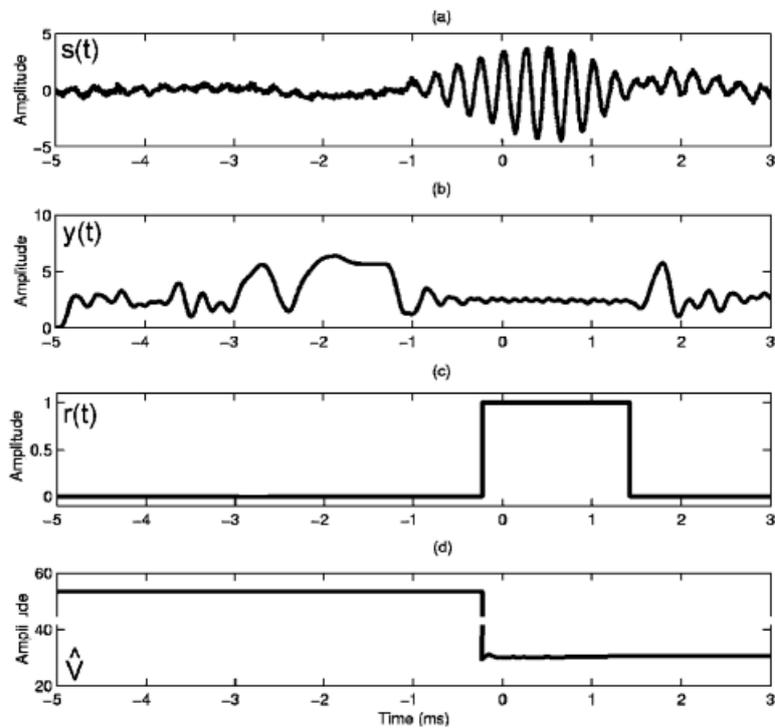


Figura 13- (a) segnale doppler- (b) segnale in uscita del PLL- (c) segnale in uscita del rivelatore di inviluppo, (d) stima della velocità

Un'elaborazione del segnale digitale in tempo reale richiede un file hardware complesso e costoso. Quindi, l'uso di un PLL è utile per ridurre il carico computazionale di un sistema LDV. Tuttavia, il PLL può essere migliorato e ad oggi un tale dispositivo è stato progettato ed è in fase di test.

CAPITOLO 6 - RELAZIONE TRA COSTO ENERGETICO E FLUTTUAZIONE DI VELOCITÀ DEI NUOTATORI

Per evidenziare la relazione [5] tra il costo energetico e la fluttuazione della velocità negli stili del nuoto competitivo è stato messo a punto uno studio allo scopo di analizzare le relazioni tra dispendio energetico totale, costo energetico, variazione intra-ciclo della velocità orizzontale di spostamento del centro del corpo massa e velocità media del nuoto. Lo studio ha interessato 17 nuotatori. Quattro nuotatori sono stati analizzati nello stile rana; quattro nello stile farfalla; cinque nuotatori nello stile dorso e quattro nello stile libero. La velocità di partenza è stata impostata a una velocità che rappresenta un ritmo di allenamento basso. Dopo ogni successiva nuotata di 200 m, la velocità è stata aumentata di 0,05 m/s fino a che il nuotatore non riusciva più a sostenere il ritmo predeterminato. Il periodo di riposo tra le nuotate era di 30 secondi per raccogliere campioni di sangue. I nuotatori hanno respirato attraverso un boccaglio respiratorio a sistema di valvole, collegato a un analizzatore di gas telemetrico portatile. Il consumo di ossigeno (VO_2) è stato misurato per ciascuna nuotata respiro per respiro. Sono stati raccolti campioni di sangue (25 μ l) dal lobo dell'orecchio allo scopo di analizzare la concentrazione di acido lattico nel sangue prima e dopo ogni nuotata e 7 minuti dopo l'ultima nuotata. L'energia totale è stata calcolata osservando il consumo di ossigeno netto e l'acido lattico nel sangue netto. Il costo energetico è stato calcolato dividendo l'energia totale per la velocità di nuoto. Le nuotate sono state videoregistrate (50 Hz) sul piano sagittale con una coppia di telecamere e le immagini sono state sincronizzate in tempo reale e modificate per crearne una singola. Con procedure statistiche sono state calcolate le medie e le deviazioni standard di tutte le variabili e i coefficienti di variazione per la velocità orizzontale del centro di massa insieme al ciclo di corsa. In tutte le situazioni, gli aumenti di energia totale erano significativamente correlati all'aumento della velocità che deriva dalla necessità di superare la resistenza fluidodinamica quindi si è capito che il dispendio energetico totale sostenuto dal nuotatore è maggiore nel caso di fluttuazioni di velocità rispetto a una velocità di nuoto mantenuta costante. In conclusione, è possibile affermare che la valutazione biomeccanica della tecnica di nuoto e l'individuazione dei punti critici di esecuzione sono fondamentali per il miglioramento delle prestazioni per rendere la tecnica di nuoto più costante possibile e quindi ridurre gli sprechi di energia.

CONCLUSIONI

La tesi analizza principalmente due metodi di misurazione delle prestazioni degli atleti, il primo è quello basato su riprese video e il secondo basato su sistemi inerziali. Le misurazioni vengono effettuate su nuotatori sia normodotati che no. Sono stati effettuati studi su nuotatori di alto livello per garantire coerenza ed efficacia. I calcoli sono svolti principalmente grazie al programma MATLAB. L'obiettivo è quello di studiare quanto più possibile un metodo automatico per misurare le prestazioni dei nuotatori in modo da rendere gli allenamenti sempre più efficienti. Si utilizzano sistemi come IMMU grazie alle quali l'atleta è meno vincolato da cavi e può eseguire un'azione molto più naturale. Il laser DOPPLER, inoltre, grazie all'utilizzo di un sistema LDV, permette di misurare attraverso dei laser la velocità che ogni atleta ha nelle sue preparazioni. Viene anche trattata una relazione tra sistemi inerziali con misurazioni 2D e 3D e viene fatta una comparazione tra le due per trovare quella più adatta. Si parla del lavoro svolto dagli atleti paralimpici e quindi cosa cambia negli sport quando si hanno disabilità motorie. Infine, viene trattata la relazione che vi è tra il costo energetico che ogni nuotatore paga per raggiungere il massimo risultato e quindi abbassare più possibile il primo aumentando allo stesso tempo il secondo. Si stanno sviluppando sistemi sempre più complessi ed efficaci ma ci vorrà ancora tempo prima che questi potranno risultare economici e quindi utilizzabili da ogni gruppo sportivo. Le principali problematiche dei sistemi basati sull'analisi video sono: l'occlusione ai danni dell'obiettivo dovuta alle bolle che si creano durante la bracciata e i tanti dati da analizzare a fine allenamento e quindi il notevole tempo per fare ciò. Il secondo è anche un problema nell'analisi tramite sensori inerziali che oltre a questo deve occuparsi del rumore che si crea nelle misurazioni con conseguente poca chiarezza nei dati che vengono estrapolati. Per migliorare tutto questo un ruolo fondamentale lo avrà lo sviluppo tecnologico in tutti gli ambiti con conseguente miglioramento e velocizzazione delle analisi dati. Per ovviare al problema dei rumori nei sistemi inerziali ci si potrebbe occupare principalmente della visualizzazione dei sensori migliorando la ricezione.

BIBLIOGRAFIA

1. 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; 1(5): 133-150.
2. Sian Barris and Chris Button, A Review of Vision-Based Motion Analysis in Sport, *Sports Med* 2008; 38 (12): 1025-1043
3. Alain Le Duff, Guy Plantier, Jean-Christophe Valière, and Thierry Bosch, Analog Sensor Design Proposal for Laser Doppler Velocimetry, *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 4, NO. 2, APRIL 2004
4. Josje van Houwelingen, Raf M. Antwerpen, P. C. Holten, Ernst Jan Grift, Jerry Westerweel, Herman J. H. Clercx, Automated LED tracking to measure instantaneous velocities in swimming, *Sports Engineering* (2018)
5. Francisco Lima, Paulo Colaço, Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes, *ResearchGate*, 2005
6. Andy Stamm, David V. Thiel, Brendan Burkett, Daniel A. James, Towards determining absolute velocity of freestyle swimming using 3-axis accelerometers, *Procedia Engineering* 13 (2011)
7. Matteo Cortesi, Andrea Giovanardi, Giorgio Gatta, Anna L. Mangia, Sandro Bartolomei and Silvia Fantozzi, Inertial Sensors in Swimming: Detection of Stroke Phases through 3D Wrist Trajectory, *Journal of Sports Science and Medicine* (2019) 18, 438-447
8. Andy Stamm, Daniel A. James, David V. Thiel, Velocity profiling using inertial sensors for freestyle swimming, *International Sports Engineering Association* 2012
9. Wellington G Feitosa, Ricardo de Assis Correia, Tiago M Barbosa, Flávio A de Souza Castro, Performance of disabled swimmers in protocols or tests and competitions: a systematic review and meta-analysis, *Sports Biomech.* 2019.
10. Javier Güeita-Rodríguez, Lidiane Lima Florencio, José Luis Arias-Burúa, Johan Lambeck, Cesar Fernández-de-Las-Peñas, Domingo Palacios-Ceña, Content Comparison of Aquatic Therapy Outcome Measures for Children with Neuromuscular and Neurodevelopmental Disorders Using the International Classification of Functioning, Disability, and Health, *Int J Environ Res Public Health.* 2019
11. Conor D Osborough, Carl J Payton, Daniel J Daly, Influence of swimming speed on inter-arm coordination in competitive unilateral arm amputee front crawl swimmers, *Hum Mov Sci.* 2010
12. Karini B Santos, Paulo C B Bento, Carl Payton, André L F Rodacki, Symmetry in the front crawl stroke of different skill levels of able-bodied and disabled swimmers, *PLoS One.* 2020.

PENSIERI PERSONALI

Per via della pandemia che ha colpito tutto il mondo non è stato possibile compiere delle misurazioni a livello pratico su atleti agonistici. Pertanto, questo testo prende come spunto misurazioni effettuate in precedenza da altri ricercatori e cerca di riunire tutti i pensieri e gli esperimenti effettuati. Da quello che è stato trattato ho potuto capire che si stanno effettuando esperimenti con diversi metodi di misurazione per poter migliorare sempre di più gli allenamenti e quindi superare le barriere sportive che sono sopraggiunte fino ad oggi. È stato un ottimo studio e una fonte di ispirazione nel raggiungere sempre nuovi obiettivi. La cosa lodevole della tecnologia e quindi della scienza in generale è che ognuno può portare sempre a miglioramenti continui. Partendo dalle popolazioni più antiche che abitavano la terra e quindi dalla creazione della ruota siamo riusciti ad evolverci molto rapidamente. È così bello poter partecipare alla nostra evoluzione e a tutto ciò che ne seguirà, anche se ci può spaventare. Con il passare degli anni si riuscirà a migliorare sempre di più la tecnologia in generale e con essa le tecniche di misurazione di cui ho trattato sopra. Ci saranno sempre nuove sfide da vincere, ma l'uomo è fatto per questo e con impegno e sacrificio si raggiungeranno sempre nuovi obiettivi. Ci saranno molte delusioni e molti errori ma si riuscirà sempre a migliorare in ogni cosa. Per questo mi viene in mente una frase ripresa da un film, che dice: "NIENTE SACRIFICIO, NIENTE VITTORIA". Spiega benissimo che per raggiungere gli obiettivi prefissati non si può mai mollare e ci si deve sempre rimboccare le maniche. Qualsiasi cosa una persona faccia, che sia sportiva, di lavoro o qualunque altra cosa non può aspettare che le venga servito su un piatto d'argento, bisogna sempre dare tutto e superare qualsiasi problema perché i risultati prima o poi arriveranno.

<<Non voglio vivere tra la turba; la mediocrità mi fa una paura mortale; ma io voglio alzarmi e farmi grande ed eterno coll'ingegno e collo studio: impresa ardua e fors vanissima per me, ma agli uomini bisogna non disanimarsi né disperare di loro stessi>> - Giacomo Leopardi

