



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale Ingegneria Gestionale

**STUDIO DI UN SISTEMA PER IL MONITORAGGIO ACCURATO
DELLE PRESTAZIONI DEI NUOTATORI**

**STUDY OF AN ACCURATE MONITORING SYSTEM OF SWIMMERS
PERFORMANCE**

Relatore: Chiar.mo
Prof. Andrea Monteriù

Tesi di Laurea di:
Matunikka Gopalasingham

A.A. 2019 / 2020

*Ai miei genitori e a mia sorella,
fonti d'ispirazione e supporto quotidiano,
devo a loro tutte le soddisfazioni della mia vita.*

Sommario

Le prestazioni di nuoto di un nuotatore sono valutate principalmente in base al tempo complessivo necessario per completare una distanza specificata. Ci sono tre fattori che contribuiscono a questo tempo complessivo; la partenza, il nuoto libero e le virate. Il contributo di ciascuno di questi fattori dipende dagli eventi; ad esempio, in un evento di 50 metri non ci sono virate, tuttavia, la partenza può contribuire significativamente. Per migliorare l'intera prestazione, ciascuno di questi componenti dovrebbe essere ottimizzato in termini di abilità ed esecuzione.

Questa tesi descrive in dettaglio la ricerca intrapresa per migliorare il feedback relativo alle prestazioni nel nuoto. Un certo numero di componenti è stato sviluppato per poter sviluppare un sistema integrato per un'analisi completa delle prestazioni di nuoto in tutte le fasi della nuotata, cioè partenze, nuoto libero e virate. I componenti sviluppati in questa ricerca hanno lavorato verso nuove tecnologie al fine di facilitare una più ampia gamma di parametri di misurazione utilizzando metodi automatizzati, nonché l'applicazione di tecnologie per facilitare l'automazione delle tecniche attuali.

Per le partenze, una soluzione integrata di visione, tecnologia delle piattaforme di forza e un nodo wireless hanno permesso di ottenere una maggiore comprensione delle prestazioni complessive e delle misurazioni quantitative delle prestazioni. I profili di forza potrebbero facilmente identificare le differenze nella capacità del nuotatore o i cambiamenti nella tecnica. L'analisi del nuoto libero è stata supportata prevalentemente dalla tecnologia dei sensori wireless e in parte da accelerometri triassiali. La fase di viratura è stata caratterizzata anche nello spazio di accelerazione, consentendo di valutare individualmente le fasi della virata e di stabilire il loro contributo al tempo totale di rotazione. In tutti i casi è stata utilizzata una componente di visione per aumentare la comprensione dei dati finali e fornire un mezzo che allenatori e atleti potevano interpretare più agevolmente.

I lavori futuri dovrebbero riguardare la messa a punto del sistema prototipale in una soluzione utilizzabile per gli utenti finali. Ciò si basa sul perfezionamento dei componenti e sullo sviluppo di un'interfaccia utente appropriata per consentire la facilità di raccolta, analisi, presentazione e interpretazione dei dati.

Indice

1. ANALISI DEI REQUISITI	1
1.1. COMPONENTI DI UN SISTEMA PER ATLETI D'ÉLITE	2
1.2. REQUISITI DI MISURAZIONE DELLE PARTI INTERESSATE	4
1.3. REQUISITI DEL PROCESSO DELLE PARTI	5
2. STATO DELL' ARTE	6
2.1. RICERCA SULLA PARTENZA DEL NUOTO	7
2.2. RICERCA SUL NUOTO LIBERO	9
2.3. RICERCA SULLE VIRATE DEL NUOTO	10
2.4. TECNOLOGIE UTILIZZATE	11
2.5. ANALISI DI SISTEMI DI VISIONE AUTOMATICI PER L'ANALISI DEL MOVIMENTO UMANO	13
2.6. RETI DI SENSORI INDOSSABILI	14
2.7. RETI DI SENSORI WIRELESS	15
2.7.1. Reti di sensori del corpo (BSN)	16
3. SVILUPPO DELLE TECNOLOGIE DEI COMPONENTI	17
3.1. METODI DI VISIONE PER L'ANALISI AUTOMATIZZATA DELLA VISIONE	18
3.1.1. Componenti di sviluppo dell'elaborazione delle immagini	19
3.1.2. Processi di analisi della visione	21
3.2. PROGETTAZIONE E SVILUPPO DI UNA PIATTAFORMA DI PARTENZA INSTRUMENTATA	23
3.3. PROGETTAZIONE E SVILUPPO DI UN NODO SENSORE WIRELESS	25
4. CASO DI STUDIO – PARTENZE	27
4.1. METODI DI VISIONE PER L'ANALISI AUTOMATIZZATA DELLE PARTENZE	28
4.1.1. Soglia temporale	29
4.1.2. Soglia spaziale	31
4.1.2.1. Soglia spaziale: pelle	32
4.1.2.2. Soglia spaziale: indumento	33
4.1.2.3. Soglia spaziale: marcatori	37
4.2. MISURAZIONI DELLE PRESTAZIONI DURANTE LA FASE DI BLOCCO UTILIZZANDO LA TECNOLOGIA DELLA PIASTRA DI FORZA	39

4.2.1. Calcolo dei parametri dai dati di forza	41
4.2.1.1. Prevedere la velocità usando la relazione impulso-tempo	42
4.2.1.2. Previsione del tempo e della distanza di volo	43
4.3. RISULTATI DELLE PREVISIONI DEI DATI DI FORZA	43
4.3.1. Previsione del tempo e della distanza di volo	43
4.4. PARAMETRI DI PARTENZA DERIVABILI DAI DATI DI ACCELERAZIONE	43
5. CASO DI STUDIO – NUOTO LIBERO	45
5.1. METODI DI VISIONE PER L'ANALISI AUTOMATIZZATA DEL NUOTO LIBERO	47
5.1.1. Tracciamento dell'acqua mediante soglia spaziale: applicazione del cancello di temporizzazione	47
5.1.2. Tracciamento subacqueo con soglia spaziale	49
5.2. PARAMETRI DI NUOTO LIBERO DERIVATI DAI DATI DI ACCELERAZIONE	51
5.2.1. Analisi degli impulsi	52
5.2.2. Analisi nel dominio del tempo	53
5.2.3. Analisi nel dominio di frequenza	54
5.3. PARAMETRI DI NUOTO LIBERO DERIVATI UTILIZZANDO ACCELEROMETRI A TRE ASSI	55
6. CASO DI STUDIO – VIRATE	58
6.1. ANALISI VISIVA AUTOMATIZZATA DELLE VIRATE	60
6.2. PARAMETRI DELLA VIRATA DERIVABILI DAI DATI DI ACCELERAZIONE	61
7. CONCLUSIONI E LAVORO FUTURO	62
7.1. RIASSUNTO DELLA RICERCA	62
7.2. CONTRIBUTI ALLE NUOVE CONOSCENZE	63
7.3. RACCOMANDAZIONI PER IL LAVORO FUTURO	64
BIBLIOGRAFIA	66
RINGRAZIAMENTI	68

1. ANALISI DEI REQUISITI

L'obiettivo della ricerca presentata in questa tesi è quello di migliorare il feedback legato alle prestazioni nel nuoto. Lo scopo primario di realizzare l'obiettivo della ricerca è quello di stabilire la fattibilità dell'applicazione di nuove tecnologie e metodi nell'analisi delle prestazioni del nuoto in modo da facilitare la misurazione tempestiva di una gamma più ampia di parametri quantitativi di prestazione.

I requisiti specificati dagli stakeholder del nuoto (allenatori, scienziati sportivi e atleti) sono presentati all'interno di questo capitolo. Questi sono stati suddivisi in requisiti di misurazione e di processo. I requisiti di misurazione riguardano parametri fisici che devono essere misurati. I requisiti di processo si riferiscono al modo in cui queste misurazioni vengono ottenute ed elaborate.

Il capitolo attuale, che in particolare si focalizza sulle esigenze delle parti interessate del progetto di ricerca, è strutturato come segue. La ricerca viene discussa nel contesto di un ambiente di allenamento d'élite, in cui gli input e i risultati vengono utilizzati per ottimizzare le prestazioni degli atleti. Le esigenze di misurazione, come definite dall'utente, sono specificate per ogni fase del nuoto, cioè partenza, nuoto libero e virate. Gli attuali metodi di analisi vengono esaminati utilizzando la modellazione CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture) per valutare cosa e come viene attualmente eseguita l'analisi. I colloqui con l'utente finale sono riassunti per fornire un elenco delle "esigenze di processo". Questi affrontano il modo ideale in cui l'utente finale vorrebbe che i sistemi funzionino, ad esempio in tempo reale. Infine, vengono riassunti i temi centrali emersi dal capitolo.

1.1 Componenti di un sistema per atleti d'élite

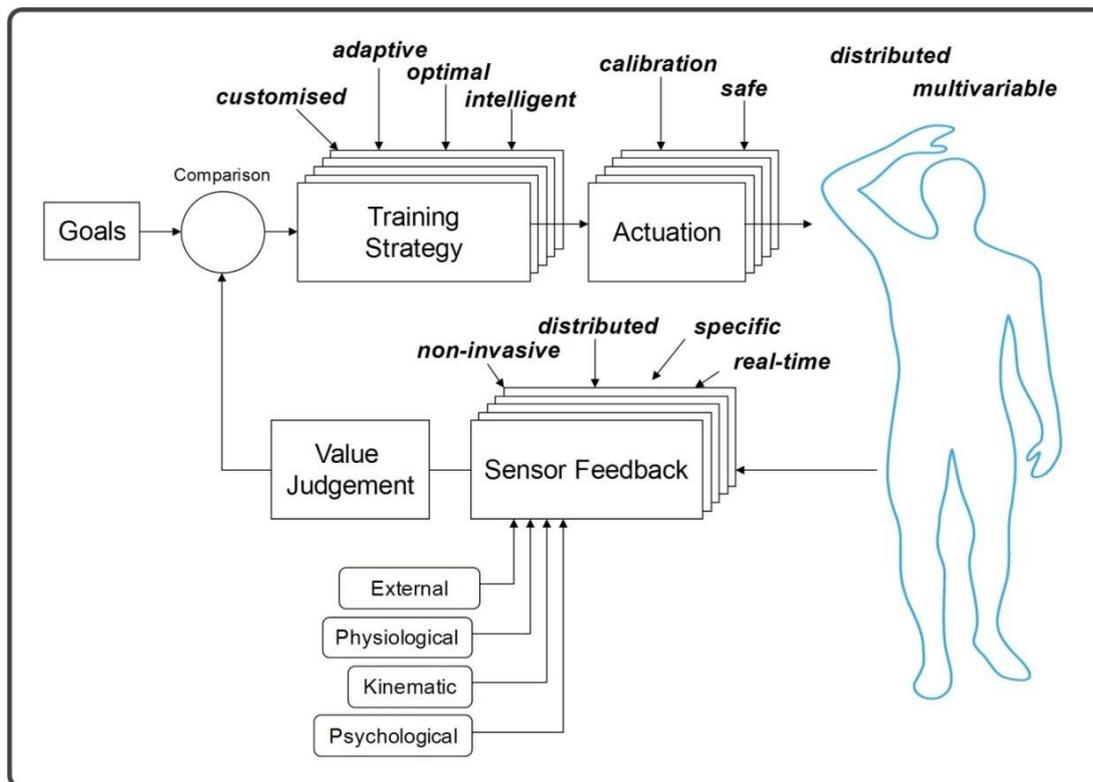


Figura 1-1: Il 'sistema' dell'atleta d'élite

Un atleta d'élite è guidato da *obiettivi* quantificabili in base alle loro prestazioni all'interno della propria disciplina specifica. Per raggiungere questi obiettivi ci sono input per l'atleta, come le *strategie di allenamento*, e output che sono gli attributi di prestazioni che possono essere misurati e monitorati (tramite *Sensori Feedback*) per fornire un'indicazione di capacità (Figura 1-1).

Per un nuotatore d'élite, gli obiettivi si baseranno prevalentemente sul raggiungimento dei momenti migliori personali per il loro evento preferito, in una data particolare, ad esempio per i Giochi Olimpici. A causa di: (i) differenze nelle esigenze degli eventi (ad esempio distanze (50m, 100m, 400m, 800m e 1500m) e stile (stile libero, dorso, rana, farfalla)), e (ii) capacità intrinseca di ogni atleta, è essenziale personalizzare l'allenamento per ottimizzare il progresso. Allo stesso modo, le strategie di allenamento devono essere adattive ovvero siano capaci di adattarsi ai cambiamenti nelle prestazioni e garantire una progressione ottimale.

In Figura 1-1, l'*attuazione*, si riferisce a dispositivi o tecnologie che possono essere utilizzati per fornire uno stimolo di allenamento per l'atleta. Per un nuotatore questi possono essere dispositivi

fuori dall'acqua come pesi o ergometri per il nuoto, mentre in acqua questi potrebbero essere, ad esempio, boccagli o dispositivi di resistenza.

L'atleta/nuotatore è stato indicato nella Figura 1-1 come un componente *distribuito e multi-variabile* da azionare e monitorare. In questo contesto, distribuito si riferisce a una componente che non è necessariamente un oggetto singolare in uno spazio, cioè ci possono essere più nuotatori da considerare e/o più componenti di un singolo nuotatore. Multi variabile descrive il fatto che ci sono una serie di variabili diverse che sono state monitorate per determinare la capacità prestante dell'atleta.

Quattro requisiti chiave sono stati identificati come caratteristiche importanti per il monitoraggio degli atleti di successo. Qualsiasi tecnologia e analisi deve essere: (i) *minima / non invasiva*, (ii) *distribuita*, (iii) *specifica dello sport* e (iv) *in tempo reale*.

Nel nuoto, aspetti come la razionalizzazione, la forma del corpo e la tecnica sono essenziali per prestazioni ottimali e quindi gli strumenti e le tecnologie utilizzati per monitorare le variabili di prestazioni degli atleti devono essere non invasivi e non gravanti per l'atleta per ridurre al minimo l'impatto sulle loro prestazioni complessive. Per un nuotatore, le opzioni sono quindi limitate al montaggio diretto sull'atleta o all'interno di indumenti aderenti alla pelle.

Il monitoraggio delle prestazioni degli atleti deve essere distribuito, cioè non dovrebbe essere isolato ad una sola situazione. Gli scenari di allenamento tipici prevedono la necessità di un allenatore per monitorare le prestazioni di cronometraggio di ciascuno degli atleti all'interno del proprio gruppo di allenamento. A livello d'élite questo equivale a cinque o dieci atleti.

È fondamentale che il monitoraggio sia specifico per l'atleta e lo sport / evento. Nel nuoto, diversi parametri di misurazione saranno più rilevanti per alcuni atleti a seconda dei loro punti di forza e di debolezza nell'evento a loro assegnato.

Sulla base delle osservazioni in tempo reale, un allenatore, uno scienziato sportivo o un atleta può esprimere giudizi tempestivi sulla progressione e sulle prestazioni dei nuotatori e quindi sviluppare più facilmente strategie di allenamento adattive che focalizzano l'atleta sulla progressione ottimale verso i suoi obiettivi.

1.2 Requisiti di misurazione delle parti interessate

	Semplice	Composto
Partenze	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo dalla pistola al primo movimento • Tempo di blocco • Angolo di entrata • Tempo di entrata • Distanza di entrata • Profondità massima • Distanza di fuga • Tempo di pausa • Tempo del primo tratto • 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocità fuori dai blocchi • Velocità di planata • Velocità di fuga
Nuoto libero	<ul style="list-style-type: none"> • Numero di tratti • Distanza percorsa • Durata del tratto • Rotazione durante la corsa: longitudinale e verticale 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenza dei tratti • Velocità di nuoto • Variazioni di velocità durante un ciclo di corsa
Virate	<ul style="list-style-type: none"> • Ultimo colpo alla parete • Informazioni sulla rotazione • Tempo di contatto con la parete • Durata del contatto con la parete • Profilo di profondità • Distanza di fuga • Tempo del primo tratto 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocità in entrata/uscita delle virate, anche planate, partenza del nuoto iniziale

Tabella 1-1: Requisiti per i parametri di misurazione del nuoto

Queste variabili riguardano esclusivamente l'aspetto cinematico del monitoraggio delle prestazioni degli atleti. Essi sono stati suddivisi in due sottogruppi (semplici e composti) relativi ad ogni fase del nuoto (partenza, nuoto libero e curve) (cfr. Tabella 1-1). Le *misurazioni semplici* si riferiscono a parametri "unidimensionali" come il tempo e la distanza. Le *misurazioni composte* riguardano principalmente le velocità, che richiedono una combinazione di misurazioni semplici per la loro valutazione. Sono evidenziate in grassetto nella Tabella 1-1 le misurazioni attualmente monitorate di routine.

1.3 Requisiti del processo delle parti

No.	Requisito	Classifica
1.	Misure ripetibili: cioè è possibile effettuare confronti tra lo stesso nuotatore in giorni diversi, nuotatori diversi e nuotatori in luoghi diversi	9
2.	Misure specifiche per lo sport/abilità	9
3.	Risultati e feedback di facile comprensione, ad esempio misure dirette delle prestazioni, fiducia nelle tecniche e come interpretare i dati in modo significativo	8
4.	In tempo reale/In situ : i risultati possono essere forniti durante la sessione	8
5.	Facile comunicare un feedback utile agli atleti in modo che comprendano e possano rispondere	8
6.	Adatto per l'analisi multi-atleta	8
7.	Basso costo del tempo e intensità di manodopera per recuperare dati utilizzabili	7
8.	Facile da usare: può essere impostato e gestito da una sola persona	7
9.	Non invasivo e non gravante per l'atleta durante il nuoto	7
10.	Accessibile: conveniente, facile da ottenere, facile da applicare nel nuoto	5
11.	Non ha alcun impatto sulla capacità di eseguire la sessione, ad esempio un kit minimo che non invade lo spazio intorno alla piscina, limitando la mobilità del coach durante una sessione	5

Tabella 1-2: Requisiti del processo delle parti interessate

Oltre ai requisiti di misurazione sono state riportate le esigenze operative e non operative degli allenatori e del personale di supporto. I requisiti principali sono elencati nella Tabella 1-2; insieme alla classifica degli utenti sull'importanza di ogni affermazione.

2. STATO DELL' ARTE

L'attuale stato dell'arte nella ricerca sul nuoto viene valutato per ogni fase della nuotata, cioè partenze, nuoto libero e curve. Vengono riassunti i tipi di misurazioni effettuati e i metodi utilizzati per l'accertamento di tali misure. Oltre a ciò, viene discusso il sostegno della letteratura per lo sviluppo delle tecnologie dei componenti. Ciò include la letteratura pertinente relativa all'analisi del movimento umano attraverso tecniche di visione automatizzate e lo sviluppo di reti di sensori corporei.

È stata effettuata una panoramica delle ricerche in corso sulle reti di sensori corporei e sono state esaminate diverse applicazioni. I processi associati all'implementazione di una rete di sensori corporei vengono discussi con riferimento a un'applicazione di nuoto.

Infine, viene esplorata l'analisi automatizzata della visione per il tracciamento del movimento umano. I processi, le ipotesi e i metodi tipici sono stati riassunti e le loro implicazioni per l'applicazione in un ambiente di nuoto sono state valutate.

2.1 Ricerca sulla partenza del nuoto

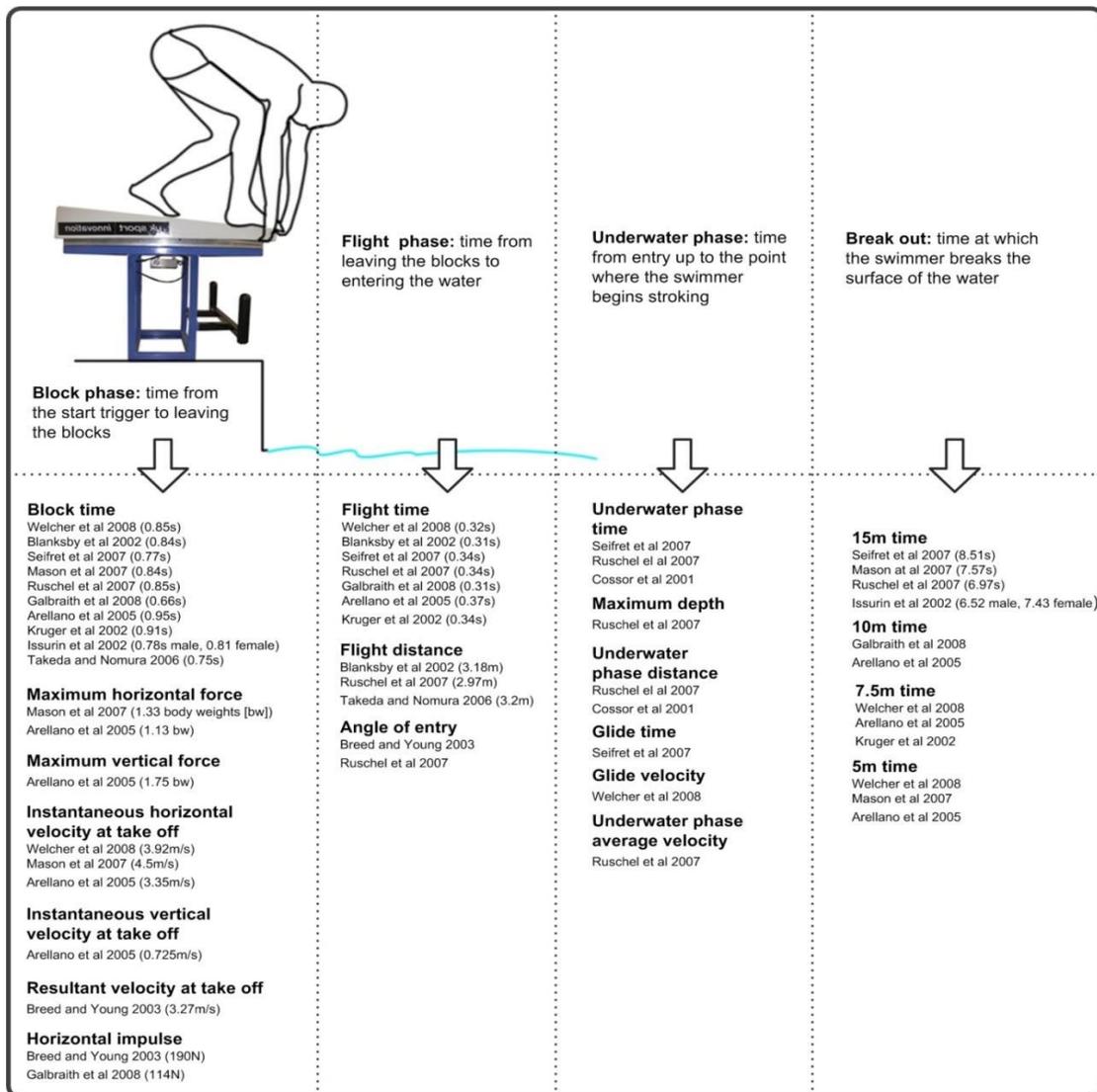


Figura 2-1: La revisione del nuoto studio delle partenze

La partenza dal blocco è un evento che può essere suddiviso in quattro componenti chiave, vale a dire la *fase di blocco*, la *fase di volo*, la *fase subacquea* e lo *scompiglio*. Nell'ambito dei lavori esaminati, riassunti nella Figura 2-1, sono state effettuate misurazioni relative ad alcune o tutte queste fasi per fornire un'analisi delle prestazioni iniziali.

Durante la partenza dal blocco, il parametro misurato più ricorrente riportato in letteratura è il tempo di blocco, tipicamente riportato tra 0,75 s e 0,85 s. Tra i lavori che riportavano la forza fuori dal blocco, un certo numero di lavori asseriscono che la massima forza orizzontale è correlata a migliori prestazioni di partenza.

La fase di volo è definita come il tempo tra il nuotatore che lascia il blocco e il momento in cui entra in acqua. Durante questa fase il parametro di misurazione più comune riportato in letteratura è il tempo di volo. È stato notato che i tempi di volo riportati erano molto simili per tutti i lavori esaminati, cioè $\sim 0,34$ s.

La distanza di volo è considerata un'importante variabile in quanto un nuotatore può viaggiare più velocemente attraverso l'aria che attraverso l'acqua, pertanto, è preferibile che il nuotatore viaggi il più lontano possibile prima di entrare in acqua. Un altro pensiero ricorrente nei documenti esaminati, è che con tutti gli altri parametri uguali, la velocità orizzontale istantanea fuori dai blocchi ha il più grande effetto sulla distanza che il nuotatore percorre prima dell'ingresso in acqua. Tuttavia, è stato anche notato che, la velocità orizzontale al decollo non può essere utilizzata per valutare le prestazioni di avvio isolatamente. Mason 2007 ha riferito che il tempo sui blocchi e la velocità orizzontale al decollo erano due parametri che influenzano le prestazioni di partenza, e ha suggerito che l'accelerazione media sarebbe stata una misurazione delle prestazioni più utile in quanto combina entrambi i parametri. L'angolo di ingresso fornisce un'indicazione di come il nuotatore entra in acqua.

Nei due lavori esaminati che riportavano l'angolo di ingresso, si discute poco di come l'angolo di ingresso influisca sulle prestazioni di partenza complessive. Si ipotizza che l'angolo di ingresso influenzi la successiva profondità dell'immersione, che influisce sul resto della fase iniziale.

La fase subacquea ha il maggiore impatto sulle prestazioni complessive, in quanto è qui che il nuotatore trascorre la maggiore quantità di tempo rispetto alla fase di partenza e alla fase di blocco e volo. Tuttavia, si nota che le fasi di blocco e di volo precedono la fase sottomarina, e quindi rimangono importanti. Le misurazioni registrate per quanto riguarda la fase subacquea permettono di monitorare il tempo, la profondità, la distanza e la velocità. La fase subacquea comprende il passaggio dall'acqua all'aria e infine l'inizio del nuoto libero.

Break out è il punto in cui il nuotatore rompe la superficie dell'acqua e inizia a nuotare in acqua. Piuttosto che segnalare la distanza o il tempo di fuga, i lavori tendono a registrare il tempo necessario a un nuotatore per raggiungere una distanza predefinita dal blocco. Queste distanze variavano da 5m a 15m.

Welcher et al 2008 hanno concluso che dato il numero di documenti di ricerca sulle partenze del nuoto, sembra esserci ancora poco consenso su quali parametri contribuiscono maggiormente alle prestazioni complessive di partenza del nuoto. Questa ipotesi è supportata dalla letteratura esaminata in questo capitolo, in cui non sono stati trovati insiemi standardizzati di parametri o metodi di misurazione per analizzare l'inizio del nuoto.

2.2 Ricerca sul nuoto libero

La letteratura esaminata con riferimento all'analisi delle prestazioni di nuoto libero è stata suddivisa nei quattro principali stili di nuoto: stile libero, dorso, farfalla e rana. Ogni corsa ha fasi cicliche associate ai componenti del movimento del braccio e della gamba. Le definizioni di queste fasi variavano in una certa misura nella letteratura esaminata, tuttavia qui sono state riassunte le descrizioni tipiche.

Stile libero e dorso condividono gli stessi descrittori per le fasi di braccio e gamba. *L'ingresso della mano* e la *cattura* è il punto in cui il nuotatore entra con la mano in acqua e ottiene una "presa" dell'acqua. Il *tiro* definisce la prima metà del tratto in cui il nuotatore tira il braccio da una posizione allungata davanti al corpo a un punto mediale. La *spinta* descrive la mano mentre si muove dal punto mediale verso i piedi del nuotatore. Il *recupero* è l'azione del braccio dei nuotatori mentre lascia l'acqua e viene restituito al punto di partenza per il rientro. Le fasi delle gambe sono semplicemente definite come un *ottimista* e un *pessimista*, uno che descrive il movimento del piede da una posizione più profonda a una più bassa e viceversa. Descrizioni simili sono usate per la farfalla e la rana per descrivere il movimento delle braccia e delle gambe.

I partecipanti alle prestazioni di nuoto libero sono stati classificati in tre aree principali: *prestazioni, fisiologia e abilità / tecnica*. Tutti i lavori esaminati hanno utilizzato tecniche di analisi della visione per ricavare parametri di prestazioni.

I parametri di prestazione riguardavano misurazioni del movimento come velocità di corsa, distanza della corsa e velocità. Si accetta che le relazioni tra tali parametri diano un'indicazione delle prestazioni di nuoto.

I parametri di abilità o tecnica hanno affrontato aspetti più tecnici delle prestazioni di nuoto come la coordinazione dei colpi di nuoto.

La pertinenza delle misurazioni fisiologiche all'interno di questo progetto è limitata a causa dell'assenza di specifiche nei requisiti delle parti interessate delineati. La cosa più importante da notare per tutti i lavori esaminati che riportavano parametri fisiologici, era che tutte le misurazioni sono state effettuate dopo il nuoto, cioè non c'era capacità di monitorare la fisiologia in tempo reale.

2.3 Ricerca sulle virate del nuoto

Nel nuoto ci sono due tipi di virate, la *virata tumble* e la *curva aperta*. Le virate tumble vengono utilizzate sia per gli eventi di stile libero che dorso in cui il nuotatore esegue un rollio in avanti mentre si avvicina al muro e spinge fuori dal muro con solo i piedi. La svolta aperta viene utilizzata negli eventi farfalla e rana in cui il nuotatore tocca entrambe le mani sul muro e poi spinge via con i piedi. La ricerca esaminata si è concentrata prevalentemente sulla tecnica di virate tumble.

Le fasi rilevanti per questo tipo di svolta sono: *approccio, rotazione, contatto a parete, planata e preparazione della corsa*.

La fase di avvicinamento è definita come il tempo tra una distanza predefinita dalla parete prima del giro e l'inizio della virata. Per Tourny-Chollet et al 2002, la distanza dal muro utilizzata era di 7,5 m per determinare il tempo di avvicinamento. A 7,5 m e 5 m dal muro è stata registrata la velocità del nuotatore. Nessun altro lavoro esaminato ha trattato direttamente la fase di approccio.

Poco viene riportato sulla fase di rotazione, che si occupa del tempo durante il quale il nuotatore inizia a ruotare da una posizione incline al punto in cui i loro piedi contattano il muro.

Durante la fase di contatto a parete sono stati riportati due tipi di misurazioni, in primo luogo il tempo di contatto della parete e in secondo luogo le forze associate a questa fase di contatto. Per le virate a farfalla e rana, i tempi di contatto sono stati divisi in componenti di mani e piedi. Le misurazioni della forza sono state facilitate instrumentando la parete di viratura con la tecnologia della piastra di forza.

La fase di planata è il tempo dopo che i piedi dei nuotatori hanno lasciato il muro fino al punto in cui si preparano a riprendere la corsa. L'analisi di questa fase è data misurando le velocità a

distanze predefinite dalla parete. Nella letteratura esaminata, la variabilità nei protocolli suggeriva che non c'era una distanza standard alla quale la velocità misurata possa meglio quantificare le prestazioni di viratura.

La fase di preparazione della corsa è il momento in cui il nuotatore smette di nuotare e riprende il nuoto libero.

2.4 Tecnologie utilizzate

L'analisi dei dati provenienti dai sistemi di visione era un metodo comune utilizzato in tutti i lavori esaminati. Ulteriori tecnologie utilizzate erano blocchi di partenza in strumentati con trasduttori di forza, sistemi tethered per misurare la velocità e pareti di tornitura con trasduttori di forza. Queste tecnologie aggiuntive consentivano di effettuare misurazioni dirette che non sarebbero state possibili utilizzando soltanto la visione.

Technology	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vision	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
Tethered			●	●	●	●	●	●		●	
Force	●	●		●	●	●	●				

Tabella 2-1: Valutazione delle tecnologie attuali rispetto alle esigenze di processo

È stata valutata la conformità delle ricerche attuali per soddisfare i requisiti di processo riportati nella Tabella 1-2. La codifica a colori è stata utilizzata per distinguere le esigenze che sono interamente soddisfatte come verdi e quelle che sono soddisfatte in una certa misura come arancioni, vedi Tabella 2-1. La visione fornisce il metodo meno invasivo di raccolta dei dati, che può essere facilmente compreso e analizzato in tempo reale per misurazioni soggettive. Tuttavia, l'analisi che richiede la post-elaborazione non può essere fornita in tempo reale, ma analizzata dopo la sessione. La ripetibilità è stata evidenziata anche come un'esigenza che non può essere completamente soddisfatta utilizzando questa tecnica. Due importanti carenze di visione sono state identificate come il tempo e il costo del lavoro associati alle tecniche di analisi manuale, cioè la digitalizzazione, e l'incapacità di monitorare più atleti contemporaneamente.

I sistemi “tethered” (ovvero sia con cavo) fornivano dati ripetibili, in tempo reale e di facile comprensione riguardanti le prestazioni di nuoto, ad esempio la velocità. Tuttavia, in assenza di un sistema di visione complementare può essere difficile ottenere l'interpretazione dei dati. Vi sono, poi, altre carenze: l'effetto che l'attaccamento fisico di un tether avrebbe sul nuotatore e successivamente la loro capacità di eseguire il nuoto normale, cioè la tecnologia sarebbe più invasiva e appesantita dell'ideale. Un'altra limitazione era che il sistema tethered avrebbe limitato l'uso della corsia a un singolo nuotatore, per garantire che altri nuotatori non siano a rischio di impigliarsi nel tether.

Le tecnologie “force plate”, come per i sistemi tethered, sono state considerate efficaci nel fornire misurazioni ripetibili e in tempo reale specifiche dello sport. Il principale svantaggio dell'uso delle piastre di forza è stato identificato come la mancanza di conoscenza e comprensione per quanto riguarda i dati.

Si è concluso che l'attuale analisi del nuoto dipendeva fortemente da tecniche manuali di analisi della visione le cui principali carenze sono state identificate come variabilità di misura a causa del giudizio umano, feedback quantitativo non in tempo reale e costi elevati in termini di tempo e intensità di lavoro. Le tecnologie alternative sono state in grado di fornire ulteriori misurazioni delle prestazioni, tuttavia, queste non erano utili in isolamento e attualmente potevano essere gravanti per l'atleta. Si è ritenuto che l'abilitazione delle tecnologie sviluppate dovesse funzionare verso componenti di elaborazione automatizzati e integrati che mantenesse i dati visivi per convalidare i processi. La componente visiva è necessaria per aumentare la comprensione di nuovi tipi di dati e fornire all'allenatore e all'atleta uno stimolo di feedback aggiuntivo che possono agevolmente interpretare ed applicare.

2.5 Analisi di sistemi di visione automatici per l'analisi del movimento umano

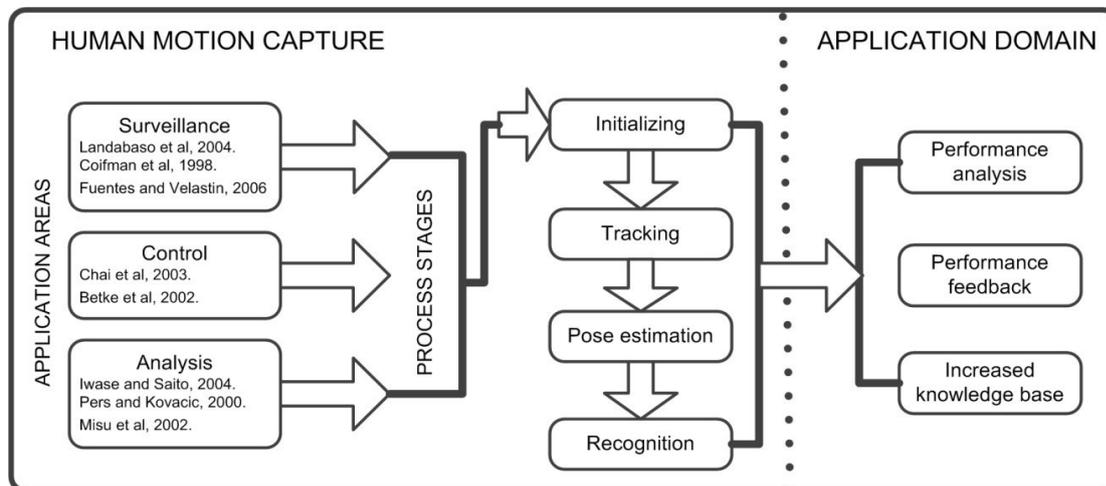


Figura 2-2: Fasi della cattura del movimento umano

L'analisi del movimento umano utilizzando processi di visione automatizzati è stata applicata in diversi domini, Figura 2-2. I sistemi di visione sono stati utilizzati nell'ambito della *sorveglianza* per monitorare le persone. Il *controllo* si riferisce ai sistemi di visione usati per controllare qualcosa'altro destinato a soggetti gravemente disabili. Le applicazioni di analisi sono il luogo in cui vengono utilizzati i dati del sistema di visione per valutare l'attività acquisita.

Per ciascuna delle applicazioni sono state utilizzate quattro fasi di processo standard per consentire l'analisi. *L'inizializzazione* si riferisce ad azioni che consentono di configurare correttamente il sistema.

La fase di *tracciamento* si basa sulla capacità di segmentare l'area di interesse (AOI). Può essere descritto in tre fasi, *segmentazione*, *rappresentazione* e *tracciamento*. La capacità di segmentare l'AOI è fondamentale per il successo del sistema. La segmentazione può essere eseguita con due mezzi, *temporaneamente* o *spazialmente*. La segmentazione temporale descrive metodi che tracciano la differenza di pixel nel tempo, mentre la segmentazione spaziale guarda ai valori dei pixel.

L'area segmentata deve essere rappresentata, questo può essere ottenuto utilizzando metodi basati su oggetti o immagini. Nella rappresentazione basata su oggetti le persone sono

rappresentate rispettivamente da sagome e punti. I metodi di rappresentazione basati su immagini usano i pixel nell'immagine, come tracciare i bordi o i tratti per ritrarre il movimento

La stima della posa può essere raggiunta con o senza modelli predefiniti. Nei casi che utilizzano modelli, le aspettative predefinite di posa e movimento vengono utilizzate per migliorare il tracciamento; questo è possibile dove il movimento generale è prevedibile. In alternativa, il tracciamento privo di modelli viene utilizzato quando non vengono immessi nel sistema modelli o stime precedenti.

Un'applicazione di analisi del nuoto cadrebbe nell'area di analisi della cattura del movimento umano. Il sistema automatizzato di movimento umano sarebbe utilizzato per sostituire le tecniche manuali attualmente utilizzate. Ciò ridurrebbe le risorse necessarie per eseguire l'analisi e fornirebbe anche output affidabili che non risentirebbero della variabilità intrinseca associata alle tecniche manuali. Ciò consentirebbe a qualsiasi operatore di eseguire analisi e ottenere risultati comparabili, siano essi qualificati o meno. Un altro vantaggio dell'utilizzo di un sistema automatizzato sarebbe che i risultati sarebbero elaborati su un computer e quindi gli output potrebbero essere memorizzati automaticamente in un database, aumentando la conoscenza di base per il monitoraggio continuo.

2.6 Reti di sensori indossabili

Le tecnologie emergenti nella ricerca sul nuoto hanno iniziato ad affrontare le carenze degli attuali metodi accettati di analisi delle prestazioni. Questi nuovi sistemi esaminano l'uso di "nodi" non gravanti indossati dai nuotatori per monitorare le prestazioni, utilizzando sensori come gli accelerometri.

La letteratura ha presentato prove di validazione per l'uso di accelerometri nell'analisi specifica del nuoto. È stato riferito che i dati dell'accelerometro, montati sul fondo della schiena, potrebbero essere analizzati per derivare il conteggio dei giri e la tempistica a ± 1 nel 90% dei casi, la velocità di corsa e il conteggio delle corse a ± 1 colpo per il 90% dei casi e il riconoscimento della corsa per il 95% delle prove.

La ricerca fino ad oggi ha fornito fiducia nell'utilità dei dati dell'accelerometro per l'analisi delle prestazioni del nuoto. Le soluzioni hanno dimostrato che gli algoritmi potrebbero essere utilizzati

per monitorare con successo parametri come la velocità di corsa e la durata, senza la necessità di tecniche di analisi della visione manuale, che sarebbero tradizionalmente utilizzate. Ciò significa che l'analisi di più parametri potrebbe essere completata in meno di un secondo, piuttosto che nei minuti o decine di minuti associati alle tecniche di visione. Inoltre, i risultati avevano una maggiore affidabilità in quanto venivano utilizzate tecniche coerenti per ricavare parametri sulle prestazioni che non si basavano più sul giudizio umano.

La più grande carenza della ricerca attuale è che le tecnologie sviluppate non possiedono una capacità in tempo reale e operano uno a uno, cioè non possono essere in rete. Per ottenere un'analisi in tempo reale sarebbe necessario un passaggio alla tecnologia wireless, in cui potrebbe essere implementata una rete, consentendo a più atleti di essere monitorati contemporaneamente.

2.7 Reti di sensori wireless

Reti di sensori wireless (WSN) è un termine generico per una gamma di tecnologie utilizzate per diverse applicazioni. Questi consentono il monitoraggio distribuito tramite sensori che comunicano risultati e feedback in modalità wireless.

Le WSN che monitorano le persone, ad esempio in applicazioni sportive e sanitarie, utilizzano spesso sensori indossabili che comunicano a un'unità di elaborazione locale. Questo tipo specifico di WSN è stato definito "Body Sensor Network" (BSN) ed è considerato un tipo di piattaforma separata che si è evoluta dalla piattaforma WSN.

2.7.1 Reti di sensori del corpo (BSN)

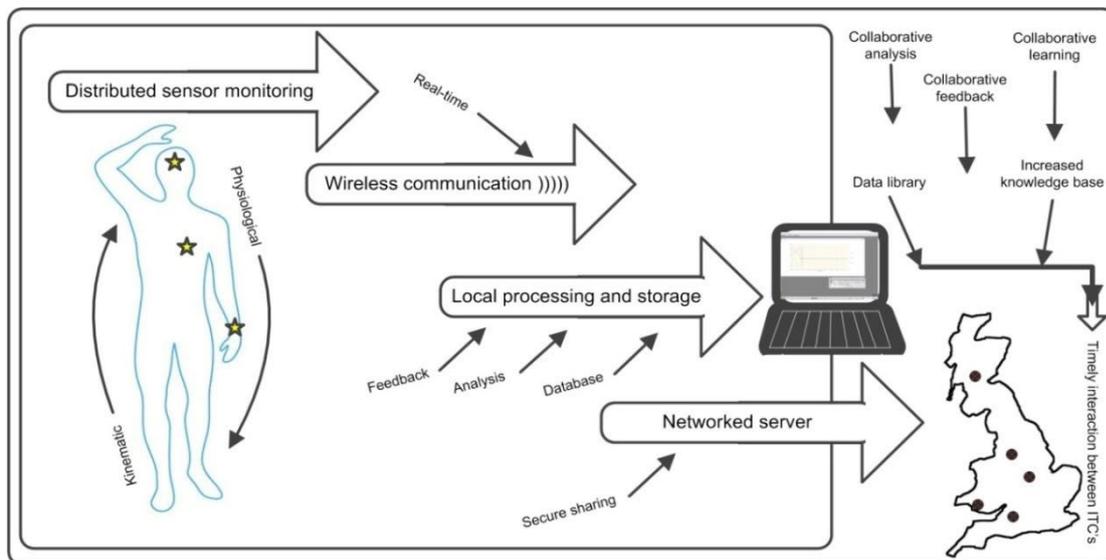


Figura 2-3: Rete di sensori indossabili, panoramica dei componenti

Un BSN ha una serie di componenti standard che sono comuni in tutte le applicazioni. Questi sono stati riassunti in Figura 2-3 come monitoraggio distribuito dei sensori, comunicazione wireless, elaborazione e archiviazione locali e server in rete. Il monitoraggio distribuito dei sensori può essere ottenuto utilizzando sensori impiantabili o indossabili che monitorano il corpo umano, in modo fisiologico o cinematico. Questi sensori comunicano in modalità wireless i dati a un'unità di elaborazione locale. La comunicazione wireless consente il monitoraggio in tempo reale. In genere l'unità di elaborazione locale memorizza i dati dei sensori in un database e consente di fornire analisi e feedback alla persona monitorata. In alternativa, questo feedback può essere trasmesso direttamente a soggetti esterni.

Nel contesto di questo progetto si credeva che una BSN sviluppata per monitorare le prestazioni degli atleti avrebbe consentito l'acquisizione, l'analisi e il feedback dei dati in tempo reale che potevano essere condivisi tra i centri di allenamento intensivi (ITC) in tutto il paese.

3. SVILUPPO DELLE TECNOLOGIE DEI COMPONENTI

Il lavoro presentato in questo capitolo riguarda lo sviluppo di tecnologie componenti per consentire l'analisi delle prestazioni di partenze, nuoto libero e virate. Ciascuno dei componenti è stato progettato per ridurre al minimo l'input dell'operatore in termini di tempo e competenza e massimizzare la produzione di misurazione, e cioè soddisfare il maggior numero possibile di requisiti delle parti interessate. I componenti sono stati progettati e convalidati isolatamente, ma sono stati concepiti per funzionare come un sistema integrato.

La variabilità delle attuali tecniche di analisi della visione, cioè la digitalizzazione manuale, è stata quantificata utilizzando uno studio sulla misurazione dell'angolo di immersione. L'angolo di immersione potrebbe quindi essere utilizzato per convalidare qualsiasi tecnica automatica sviluppata. Vengono discussi i principi alla base dei sistemi di visione automatizzati relativi allo sviluppo di un sistema specifico per il nuoto, in termini di componenti e processi. I marcatori LED sono stati progettati per fornire un sistema di marcatori da utilizzare sopra e sott'acqua.

La progettazione e lo sviluppo di un blocco strumentato con trasduttori di forza viene dettagliato. La calibrazione del blocco in tre assi è dettagliata e i risultati vengono discussi.

La progettazione e lo sviluppo di un nodo sensore wireless è spiegato in termini di selezione hardware, comunicazioni wireless e protocollo di rete. Vengono delineati i principi di base dell'estrazione delle funzionalità, in particolare la progettazione del filtro e l'uso delle caratteristiche del dominio del tempo o della frequenza per analizzare i dati.

3.1 Metodi di visione per l'analisi automatizzata della visione

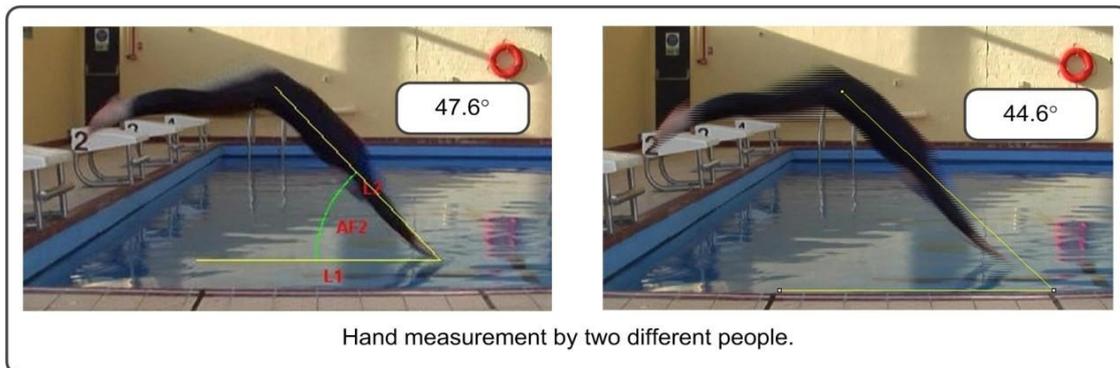


Figura 3-1: Misurazione manuale dell'angolo di immersione da parte di due persone diverse

I metodi attuali utilizzano l'uso dell'analisi della visione in due modi: analisi soggettive e digitalizzazione manuale, entrambi con variabilità intrinseca dovuta alla loro dipendenza dall'input e dall'esperienza dell'operatore umano. Questa variabilità è evidenziata dalla variabilità nella misurazione della stessa immersione ($\Delta\theta = 3^\circ$) da due persone diverse con diversi livelli di esperienza, Figura 3-1. Dato che questi metodi sono accettati come stato dell'arte nell'uso corrente, si è ritenuto che questa variabilità dovesse essere quantificata in dettaglio. Gli strumenti futuri potrebbero quindi essere misurati rispetto a questo valore di variazione standard.

I metodi manuali soffrono di due limitazioni chiave:

1. variabilità *intra-persona*, cioè se una persona misura lo stesso angolo in due diverse occasioni, fino a che punto ogni valore devierà.
2. variabilità *tra persone*, cioè se due persone diverse misurano la stessa cosa fino a che punto i loro valori deviano.

I risultati hanno mostrato che la deviazione standard delle misurazioni di un singolo utente variava da $0,8^\circ$ a $1,4^\circ$. In media la deviazione standard delle misurazioni dei tre soggetti è stata di $1,1^\circ$.

Nel secondo caso la deviazione standard delle misurazioni è stata di $2,8^\circ$, riflettendo l'influenza del giudizio personale sulla coerenza dei risultati di misurazione.

Di conseguenza, si può concludere che quando si utilizzano tecniche di misurazione manuale, il 68% delle immersioni rientra in una deviazione standard della media, cioè $\pm 1,1^\circ$, il 95% entro due

e il 99% entro tre. Questo valore fornisce un'indicazione delle prestazioni accettabili per tutti i sistemi e le soluzioni sviluppate. Un metodo automatizzato in grado di generare analisi paragonabili a quelle ottenute con metodi manuali e in grado di ridurre l'input dell'operatore è stato il risultato desiderato di questo lavoro.

È stato proposto di sviluppare un sistema automatizzato di elaborazione delle immagini che avrà la capacità di soddisfare una serie di esigenze degli utenti in modo più efficiente rispetto agli attuali metodi di analisi delle prestazioni. Fondamentalmente il sistema includeva una fotocamera per catturare il video del nuotatore alla partenza, nuoto libero o fase di virata della loro nuotata. Questo video viene quindi elaborato su un computer utilizzando algoritmi software sviluppati per sogliare l'immagine ed estrarre i parametri delle prestazioni sul nuotatore. La soglia temporale o spaziale può essere utilizzata per ottenere queste misurazioni, a seconda della natura dell'ambiente a cui viene applicato il sistema di immagini.

3.1.1 Componenti di sviluppo dell'elaborazione delle immagini

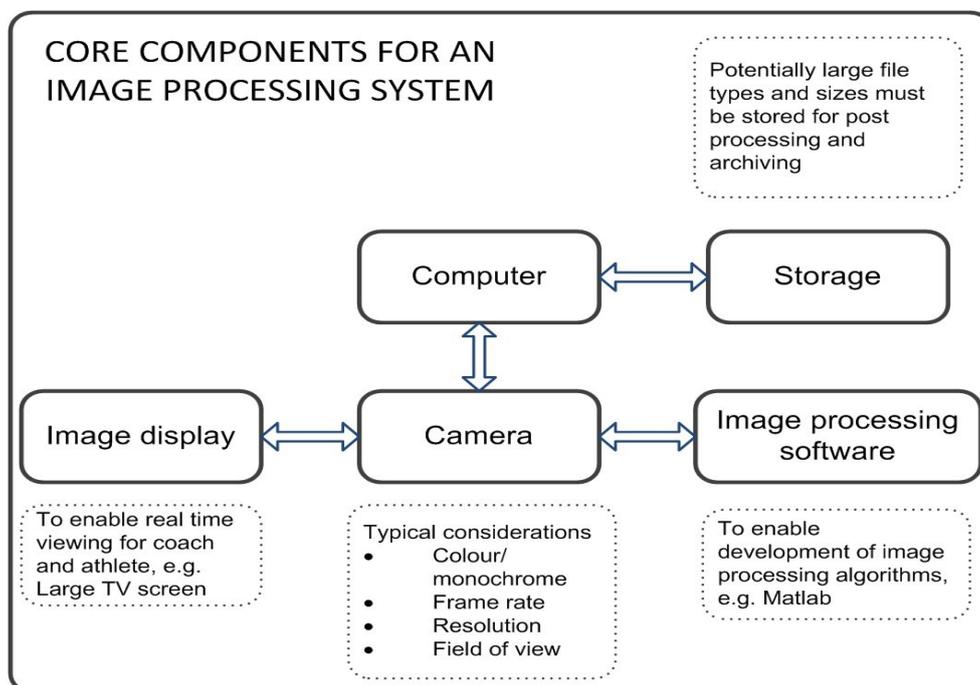


Figura 3-2: Componenti principali di un sistema automatizzato di elaborazione delle immagini

I sistemi di elaborazione delle immagini sono costruiti da un insieme di componenti principali personalizzati per l'applicazione specifica, vale a dire il *computer*, l'*archiviazione*, la

visualizzazione delle immagini, la *fotocamera* e il *software di elaborazione delle immagini*, (Figura 3-2). Centrale per il sistema è la fotocamera, poiché le decisioni prese riguardo a questo elemento hanno un impatto diretto su tutti gli altri componenti del sistema. Le considerazioni tipiche per la selezione della fotocamera includono colore o monocromo, frequenza fotogrammi, risoluzione e campo visivo. All'interno dell'applicazione di nuoto ci sono una serie di requisiti diversi per le specifiche della fotocamera, ad esempio per partenze, nuoto libero e virate.

Ci sono tre fattori di guida chiave per la selezione della fotocamera. In primo luogo, gli aspetti funzionali dell'uso, ad esempio per le partenze è necessario un campo visivo relativamente grande per consentire di visualizzare *l'intera partenza*, $\sim 7\text{m} \times 4\text{m}$, mentre, per una virata, l'area di interesse è contenuta all'interno di un'area più piccola, $\sim 5\text{m} \times 1\text{m}$. Allo stesso modo la funzione delle due telecamere sarà diversa in quanto una sarà necessaria per operare sott'acqua e l'altra sopra acqua. Il secondo fattore trainante è legato ai requisiti delle parti interessate. Questi fattori comprendono l'elaborazione in tempo reale, i costi e la risoluzione desiderata della misurazione. Infine, la disponibilità e la capacità delle tecnologie attuali avranno un impatto sulla scelta finale della fotocamera.

Il *computer* funge da collegamento tra hardware e software, facilita l'archiviazione e fornisce funzionalità di elaborazione. La decisione principale è se scegliere un sistema desktop o portatile. Data l'applicazione di nuoto, in cui la portabilità è essenziale, un laptop fornisce una soluzione praticabile, mentre un desktop si dimostrerebbe meno adatto allo scopo.

È necessario un *componente software* per consentire l'elaborazione del video acquisito per l'analisi automatizzata delle prestazioni. Ci sono una serie di strumenti che possono essere utilizzati per sviluppare algoritmi software (ad esempio Matlab) che possono quindi essere incorporati nel sistema.

Una *visualizzazione dell'immagine* è il componente finale associato al sistema complessivo. Ciò consente all'operatore e ad altri utenti di visualizzare e riosservare l'attività. Questo è particolarmente importante nella data applicazione, poiché allenatori e atleti rispondono bene agli stimoli visivi e si affidano a sessioni video per fornire un feedback sull'analisi soggettiva delle prestazioni, che è al centro di tutte le analisi attualmente intraprese.

3.1.2 Processi di analisi della visione

Per sviluppare un algoritmo di elaborazione delle immagini è possibile eseguire una serie di funzioni standard per garantire il miglior risultato possibile. La prima fase del processo è catturare *il video*, la cui *memorizzazione* sarà determinata dalla scelta della fotocamera che a sua volta influenzerà i requisiti di archiviazione e i tipi di file.

Una volta acquisita l'immagine, è possibile eseguire processi per *ottimizzare* l'immagine per la soglia e l'estrazione delle funzionalità. Questi includono il ritaglio delle immagini, il filtraggio per rimuovere o ridurre al minimo il rumore e la sottrazione di immagini di sfondo per cercare di eliminare i dettagli non necessari.

Per *sogliare* l'immagine risultante, è necessario identificare l'area di interesse (AOI). Idealmente questo AOI avrà caratteristiche distintive che consentono di identificarlo come una caratteristica all'interno dell'immagine. L'immagine può essere separata nei suoi singoli canali di colore che possono essere soglia individualmente e ricombinati. L'immagine binaria risultante può quindi essere utilizzata per fornire le caratteristiche di misura dell'AOI *tracciando il limite* e quindi *derivando parametri* da questo limite.

Un'immagine può essere separata nei singoli canali di colore per la soglia, e cioè un'immagine a colori è composta da singole immagini rosse, verdi e blu (RGB). È *possibile sogliare diversi* tipi di canale di colore, ad esempio RGB e tonalità, saturazione e valore (HSV).

Un istogramma dell'immagine fornisce informazioni su un'immagine e fornisce un'indicazione se un determinato componente dell'immagine, ad esempio un nuotatore o una caratteristica marcatore specifica, può essere facilmente discriminato.

L'applicazione di un metodo automatizzato di elaborazione delle immagini per l'analisi delle partenze dipende dalla capacità dell'algoritmo di differenziare il nuotatore dallo sfondo. Inizialmente è stato concepito che sarebbe stato possibile discriminare il nuotatore dallo sfondo perché il nuotatore è l'unico oggetto in movimento nel campo visivo. Il principio fondamentale all'interno di questo processo è una funzione di "*differenza assoluta*" in base alla quale l'immagine di sfondo viene confrontata con ogni fotogramma successivo e solo la differenza viene visualizzata nell'immagine elaborata. Questo tipo di soglia è descritto come segmentazione temporale.

L'immagine *sottratta* viene quindi sogliata per dare un'immagine binaria. Tracciando il limite, i parametri di interesse potrebbero quindi essere calcolati.

L'applicazione *riuscita delle tecniche di segmentazione temporale* è limitata da sottili variazioni nell'immagine di sfondo (ad esempio riflessi dalla superficie dell'acqua, movimento di corde di corsia, altri individui all'interno dell'immagine e l'incoerenza nell'illuminazione). Per affrontare questi problemi è possibile utilizzare tecniche di *segmentazione spaziale* che includono, ad esempio, la soglia della pelle, dell'indumento e dei marcatori indossabili. Per consentire una corretta soglia spaziale, l'AOI deve avere caratteristiche pixel distinguibili. Per migliorare il rapporto segnale/rumore, sono stati sviluppati marcatori specifici che potrebbero essere utilizzati sia in ambienti sotto che sopra l'acqua. Questi utilizzavano una serie di LED rossi progettati su una banda indossabile per creare una caratteristica unica all'interno dell'immagine.

Le incongruenze di sfumature possono essere ridotte al minimo utilizzando un pennarello scuro distinguibile, vale a dire un unico costume da bagno di copertura colorato. Per le applicazioni subacquee, ci sono una serie di fonti di rumore quando si utilizza un marcatore scuro, ad esempio derivante dalla tuta del nuotatore, piastrelle e aree ombreggiate come la parte inferiore delle corde di corsia.

L'altra limitazione della definizione del corpo del nuotatore come un "blob" è la difficoltà di tracciare punti di riferimento specifici che dovrebbero essere previsti da un singolo limite variabile. Per questi motivi, combinati con la riluttanza dell'utente finale a indossare una tuta per tutto il corpo nell'allenamento di routine, si sviluppano marcatori meno gravanti. È stato anche concepito che i marcatori potrebbero portare a una soluzione più utilizzabile in base alla quale è possibile intraprendere un'analisi più specifica.

3.2 Progettazione e sviluppo di una piattaforma di partenza strumentata

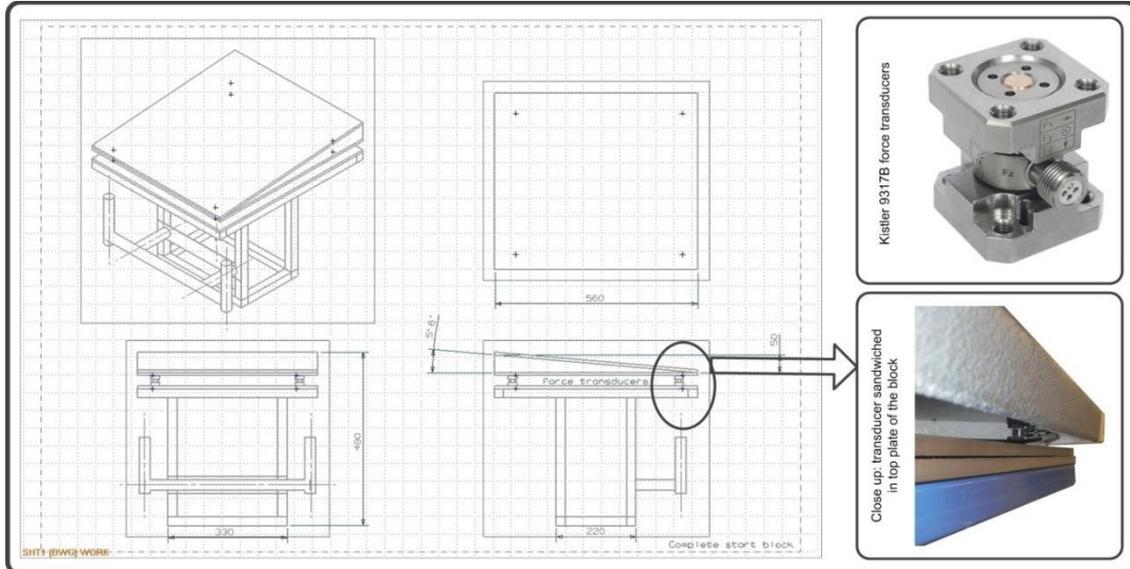


Figura 3-3: Design del blocco iniziale strumentato

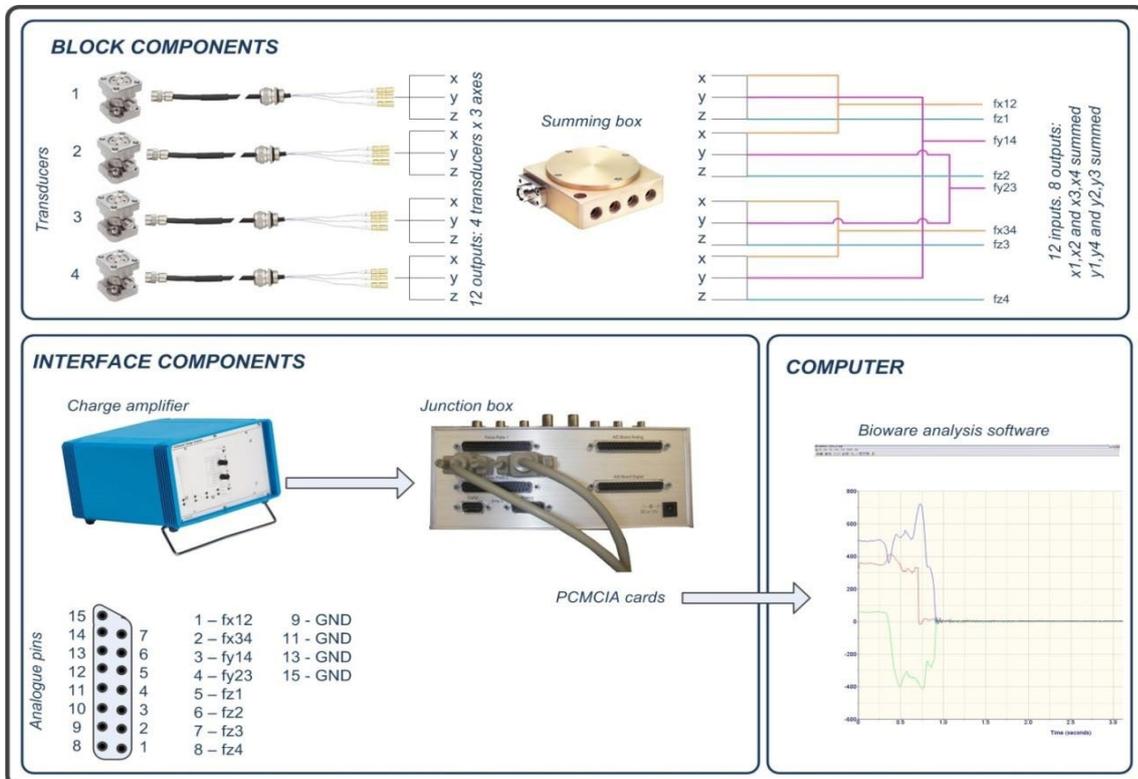


Figura 3-4: Componenti del blocco iniziale strumentato

I *componenti del blocco* includono i quattro trasduttori interfacciati tramite una scatola montata sul lato inferiore del blocco iniziale. Ciascuno dei quattro trasduttori misura la forza in tre assi, l'uscita tramite tre cavi per trasduttore. Nella scatola i 12 ingressi, cioè tre assi di forza per quattro trasduttori, vengono convertiti in otto sommando i componenti x e y in due coppie.

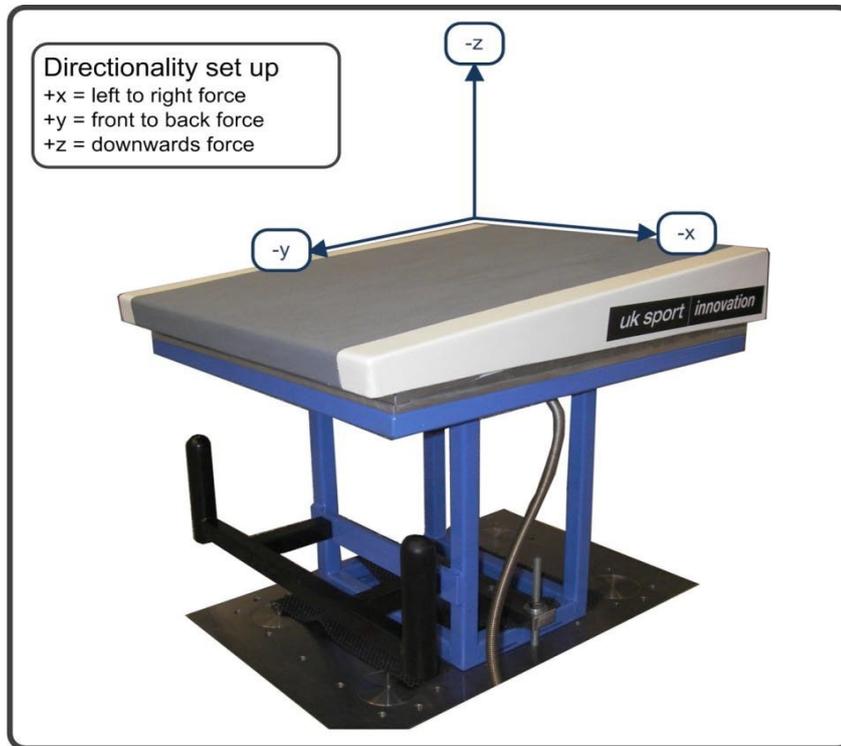


Figura 3-5: Orientamento dell'asse sul blocco sviluppato

I trasduttori nel blocco sono stati impostati in modo tale che, x rappresentava il movimento laterale (cioè da sinistra a destra), y rappresentava la forza orizzontale (cioè anteriore a posteriore) e z rappresentava la forza verticale (Figura 3-5). Questi erano orientati in modo tale che i movimenti nelle direzioni da sinistra a destra, da davanti a dietro e dalle forze dall'alto verso il basso producevano risultati positivi.

3.3 Progettazione e sviluppo di un nodo sensore wireless

Tecnologia	Frequenza	Tasso Dati	Potenza di trasmissione	Autonomia in acqua	Commenti
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	2.4GHz	721kbps	4dBm (Class 2)	<10cm a <1cm profondità (Class 2)	Portata e profondità di trasmissione molto limitate
UHF Ti CC1110	433MHz	250kbps	10dBm	35m a 25cm profondità	Stack di protocolli wireless disponibile per sviluppo (SimpliciTI), fino a 8 ingressi analogici e 21 ingressi digitali per uso generale e velocità dati fino a 250 kbps.
Nordic NRF905	433MHz	50kbps	10dBm	25-30m a 1.5m profondità	Funzionalità di bordo limitate, solo 4 canali ADC, velocità dei dati relativamente basse, nessun protocollo wireless disponibile per scopi di rete, supporto limitato.
Ezurio power amplified bluetooth	2.4GHz	300kbps	18dBm	50m a 10cm profondità	Antenna ad alta sensibilità e ad alto guadagno utilizzata per fornire una migliore autonomia. Solo 2 ingressi analogici. Supporta l'audio.

Tabella 3-6: Tecnologie valutate come potenziali soluzioni di comunicazione wireless per applicazioni di nuoto

Sono state analizzate diverse tecnologie di sviluppo potenziale e valutate le loro capacità di trasmissione in acqua, cfr. Tabella 3-6. Le frequenze più basse, 433 MHz, mostravano una penetrazione maggiore rispetto ai 2,4 GHz in acqua, anche se la soluzione Bluetooth amplificata dalla potenza mostrava alcune capacità, cioè una profondità di 10 cm a un intervallo di 50 m. Il *Ti CC1110* e il *Nordic NRF905*, sono stati in grado di trasmettere dati attraverso l'acqua della piscina (25 cm e 1,5 m di profondità rispettivamente a 35m e 30m). La radio *Bluetooth* di classe 2 non aveva quasi alcuna capacità di trasmettere attraverso qualsiasi profondità d'acqua.

Delle due soluzioni a 433 MHz, il *Ti CC1110* è stato scelto in quanto era in grado di avere velocità dati più elevate, cioè 250 kbps anziché 50 kbps, il doppio degli ingressi analogici e supportava uno stack di protocollo *SimpliciTI* per lo sviluppo di funzionalità di rete wireless. Il *Nordic NRF905* era una scheda più semplice senza supporto per la capacità di rete e quindi sarebbe stato necessario sviluppare lo stack di protocollo "internamente" per abilitare tale funzionalità.

4. CASO DI STUDIO - PARTENZE

	Semplice	Composto
Partenze	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo dalla pistola al primo movimento • Tempo di blocco • Angolo di entrata • Tempo di entrata • Distanza di entrata • Profondità massima • Distanza di fuga • Tempo di fuga • Tempi del primo tratto 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocità fuori dai blocchi • Velocità di planata • Velocità all'uscita

Tabella 4-1: Avviare i requisiti dei parametri di misurazione

Nella Tabella 4-1 viene riportato un riassunto dei parametri semplici, ossia unidimensionali e dei parametri composti (cioè derivati da una combinazione di misurazioni semplici). L'analisi dei parametri delle prestazioni di partenza del nuoto attualmente misurati, evidenziati in grassetto, si ottiene regolarmente attraverso tecniche di analisi della visione manuale che richiedono un'elevata penalità di tempo, competenza dell'operatore, costi e soffrono di variabilità intrinseca dovuta al giudizio umano. L'obiettivo della ricerca delineata in questo capitolo è mirato alla valutazione di una soluzione completa che consenta di misurare i parametri specificati nella Tabella 4-1 in modo affidabile, tempestivo ed efficiente.

La ricerca presentata in questo capitolo riguarda lo sviluppo di componenti di sistema adatti all'analisi delle partenze di nuoto. I metodi di analisi includono l'uso di tecnologie automatizzate per la visione, la piastra di forza e i nodi dei sensori wireless. La raccolta dei dati è sincronizzata per ciascuno dei componenti per consentire un'indagine integrata. I singoli componenti sono stati inizialmente sviluppati e convalidati isolatamente e quindi integrati come parte di un sistema completo.

Vengono applicati metodi di visione per consentire l'analisi automatizzata delle partenze. Sia le tecniche di soglia temporale che quella spaziale vengono testate per determinare la soluzione più appropriata per questa applicazione.

Le misurazioni delle prestazioni durante la fase di blocco vengono esplorate utilizzando una piattaforma iniziale in strumentata con trasduttori di forza. Gli indicatori di performance sono ricercati sulla base di dati grezzi.

Un nodo accelerometro wireless è sincronizzato con la piastra di forza e i dati di visione per fornire una visione più ampia dei parametri di prestazione relativi alle partenze.

4.1 Metodi di visione per l'analisi automatizzata delle partenze

L'uso di tecniche manuali basate sulla visione combinate con il cronometrando manuale è il metodo più diffuso riportato in letteratura sull'analisi delle partenze di nuoto. Tuttavia, l'analisi manuale è costosa in termini di tempo di installazione, analisi e manutenzione e soffre di una variabilità intrinseca tra misurazioni e utenti.

Due metodi di segmentazione dell'immagine, vale a dire la soglia temporale e spaziale, possono essere applicati per distinguere una caratteristica da un'immagine. La soglia temporale consente di estrarre un oggetto di interesse dal rumore di fondo nell'immagine osservando la differenza tra un fotogramma e l'altro nel tempo. La soglia spaziale, d'altra parte, si occupa di determinare le caratteristiche specifiche dell'oggetto dai singoli valori dei pixel in un'immagine. Inizialmente si è ipotizzato che, supponendo che nessun altro nuotatore fosse nel campo visivo, l'immagine di un nuotatore che esegue un'immersione possa essere discriminata dallo sfondo attraverso la soglia temporale. Ciò si basa sul fatto che il nuotatore sia l'unico oggetto all'interno della cornice dell'immagine che si muove nel tempo.

4.1.1 Soglia temporale

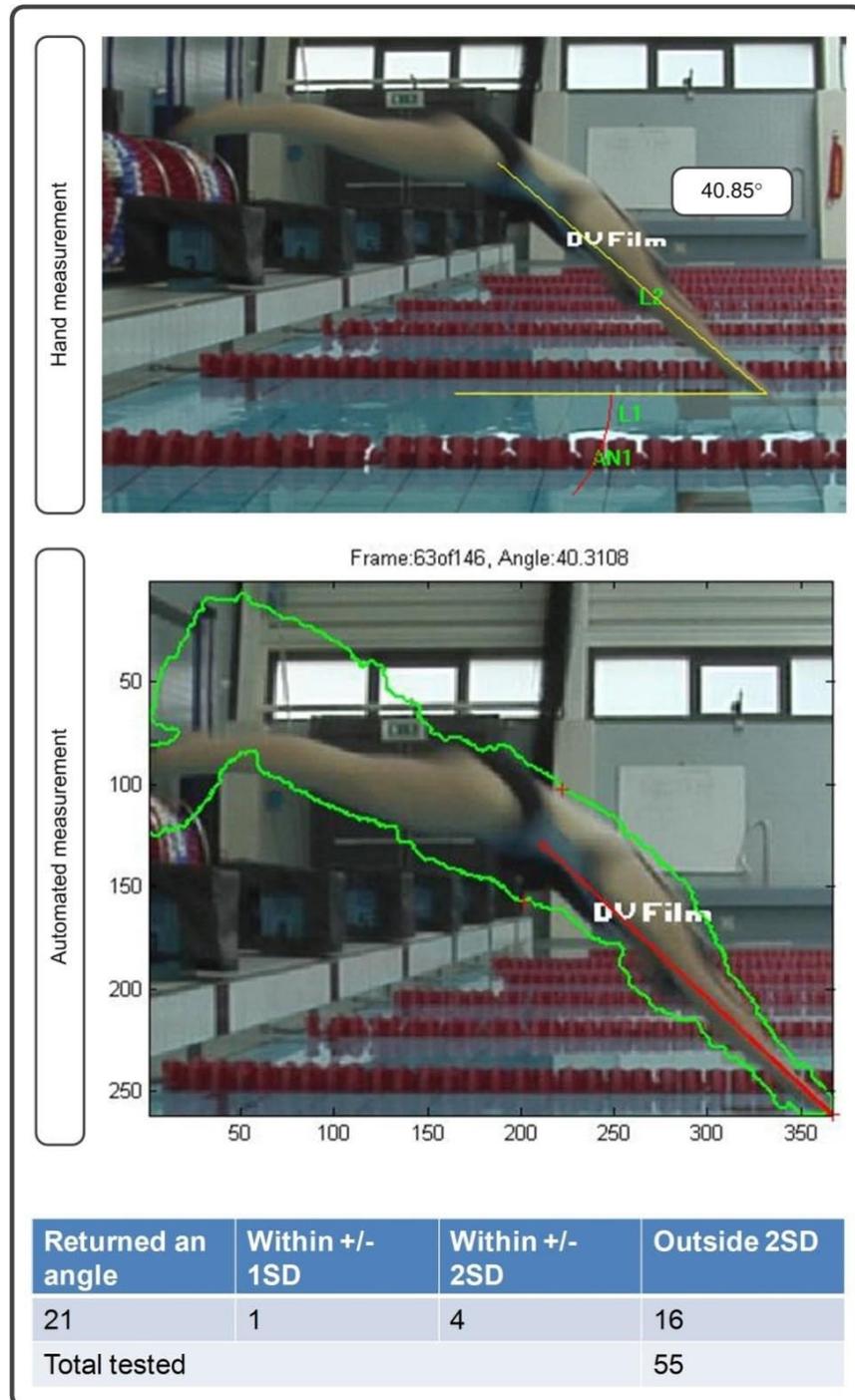


Figura 4-2: Confronto dell'angolo di immersione misurato a mano e della tecnica automatizzata utilizzando la soglia temporale

L'analisi subacquea è stata eseguita in due modi: in primo luogo utilizzando metodi di digitalizzazione manuale e, in secondo luogo, utilizzando il processo automatizzato sviluppato (cfr. Figura 4-2). Il processo di soglia temporale, sviluppato in Matlab, ha in ogni caso comportato la determinazione della differenza assoluta tra un telaio e il telaio successivo. Si pensava che

questo avesse isolato il nuotatore in quanto il loro movimento sarebbe stato rappresentato dalla differenza in ogni fotogramma, supponendo che lo sfondo fosse fermo. Usando l'immagine della differenza assoluta, il fotogramma poteva essere soglia in un binario (cioè solo pixel in bianco e nero) e il limite del "nuotatore" poteva essere tracciato.

Per l'analisi manuale, ciascuna delle immersioni è stata misurata a mano tre volte e una media di queste misurazioni è stata presa come "angolo di immersione". In genere, la misurazione ripetuta a mano dell'angolo di immersione da parte della stessa persona "esperta" si traduce in una deviazione standard (DS) di $\pm 1,1^\circ$ ($n = 3$). I confronti dell'angolo di immersione manuale e dell'angolo misurato utilizzando l'algoritmo di soglia di movimento, sono stati utilizzati per fornire *un'indicazione* dell'accuratezza e della ripetibilità dell'algoritmo. Data una distribuzione normale si prevede che il 68% degli angoli debba rientrare in 1 DS della media misurata dalla mano, il 95% entro due DS e il 99% entro tre DS. Una misurazione al di fuori di 3 DS è considerata un risultato inaccettabile in quanto non è entro limiti ragionevoli di variabilità.

Un tipico risultato di tracciamento dei limiti delle analisi automatizzate è fornito nella Figura 4-2. Ciò dimostra il livello limitato di risoluzione raggiunto utilizzando l'algoritmo di soglia di movimento. Si può vedere che il confine si discosta dal vero contorno del nuotatore che influisce sulla capacità di estrarre le misurazioni delle prestazioni con sicurezza. Inoltre, altri oggetti che si muovono nel campo visivo creano rumore, ad esempio altre persone, il movimento dell'acqua e gli effetti del cambiamento dell'illuminazione. Queste sono state le ragioni principali del limitato successo dell'utilizzo dell'algoritmo su dati di immagine grezzi.

4.1.2 Soglia spaziale

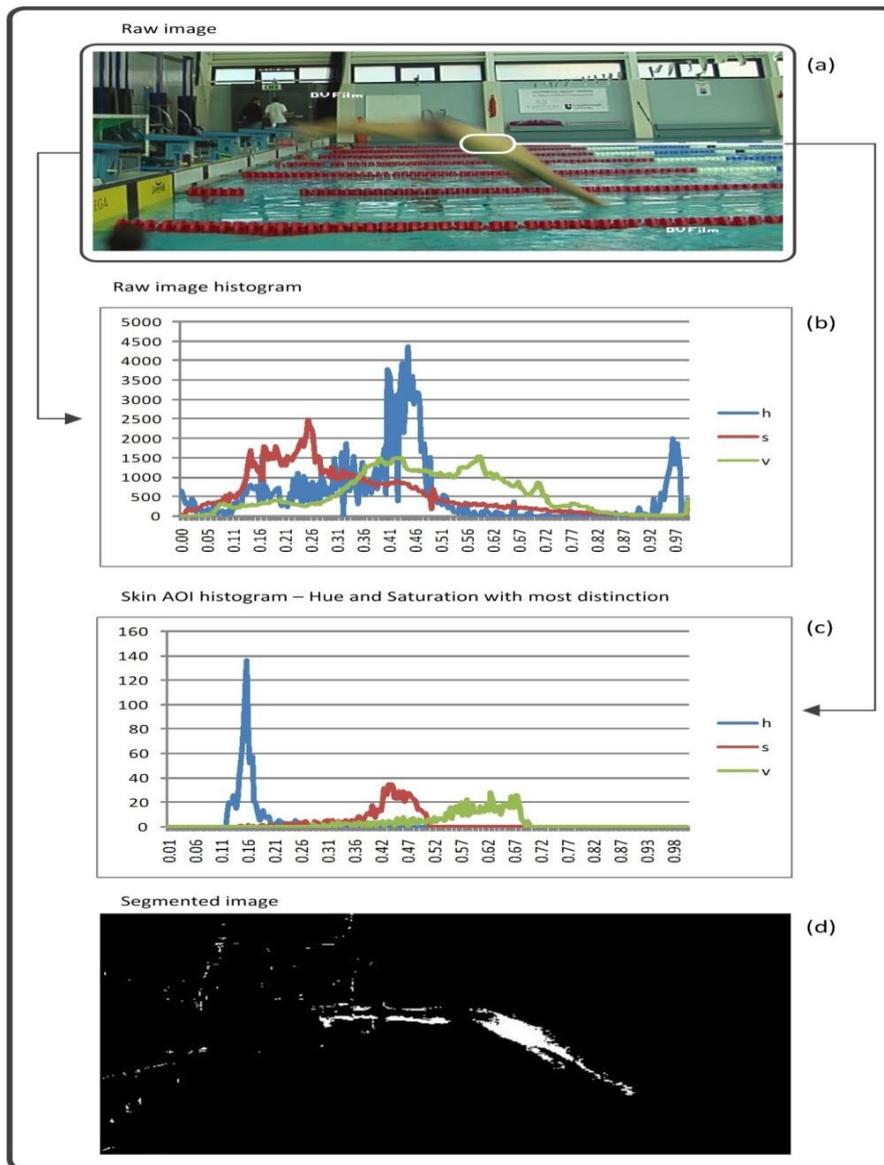


Figura 4-3: Uso degli istogrammi per identificare le caratteristiche dei pixel per la soglia spaziale

La soglia spaziale può essere utilizzata per segmentare il nuotatore dallo sfondo specificando specifiche caratteristiche dei pixel univoche per il nuotatore per determinare un'area di interesse (ADI). Separando i canali di colore all'interno di un'immagine, ogni canale può essere soglia individualmente per isolare l'ADI e quindi ricombinato per produrre una singola immagine binaria (vedere la Figura 4-3).

4.1.2.1 Soglia spaziale: pelle

Nell'allenamento normale un nuotatore maschio tenderà a indossare slip e una nuotatrice un costume normale, cioè costumi da bagno minimali. Ciò significa che in genere c'è una grande quantità di esposizione cutanea su un nuotatore. Per questo motivo si è ipotizzato che la soglia basata sul contenuto di colore della pelle, potesse fornire un potenziale per differenziare il nuotatore dallo sfondo.

Si è visto che l'utilizzo dei canali di colore tonalità, saturazione, valore (TSV) produce i migliori risultati quando si esegue la soglia della pelle per il riconoscimento facciale. Sulla base di questo, è stato sviluppato un algoritmo che segmentava il nuotatore sogliando i canali di colore TSV. Un esempio di diagramma di flusso e codice Matlab sono illustrati nella Figura 4-3.

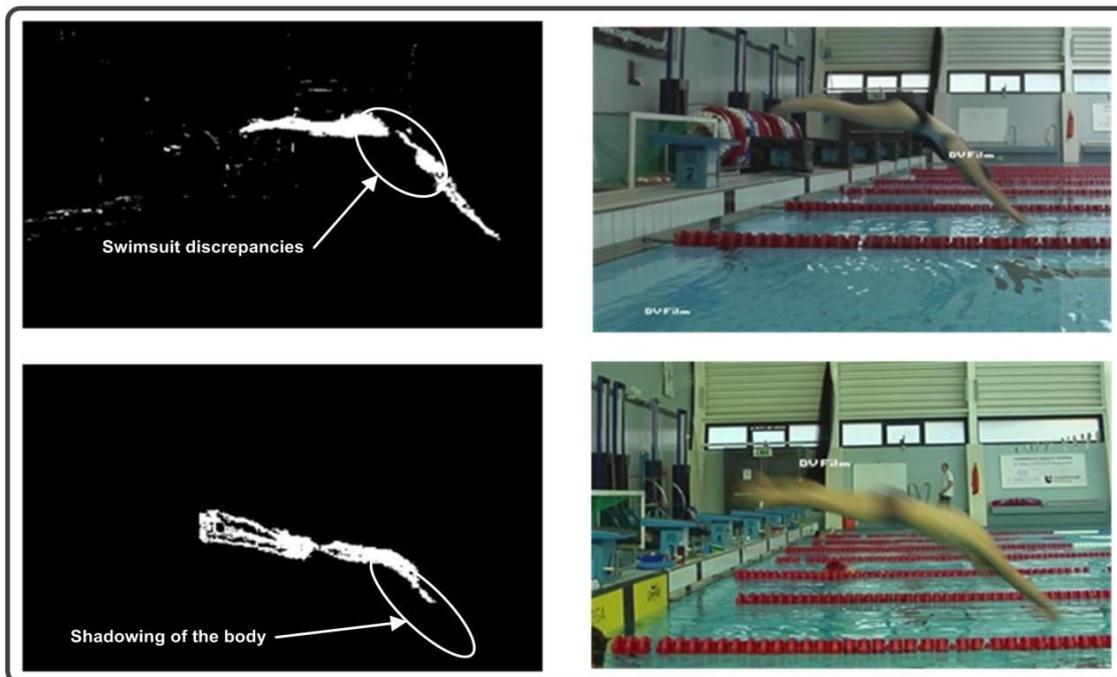


Figura 4-4: Effetti dell'ombra e dei costumi da bagno sulla capacità di sogliare il limite del nuotatore

Si sono verificate discrepanze quando il corpo era ombreggiato o ai bordi dei costumi da bagno, vedere Figura 4-4. Ciò è stato particolarmente significativo per le nuotatrici, dove i costumi da bagno hanno distorto gran parte del busto (cfr. Figura 4-4). Queste limitazioni significavano che, quando il confine è stato tracciato, non ha dato una vera rappresentazione del contorno del nuotatore e quindi le misurazioni derivate da questo limite non erano accurate o realistiche.

4.1.2.2 Soglia spaziale: indumento

È stato sviluppato un algoritmo automatizzato di elaborazione delle immagini per segmentare il nuotatore dall'immagine di sfondo in base alle caratteristiche (RGB) della loro tuta.

L'algoritmo sviluppato prende come input un video grezzo di un nuotatore che si tuffa dai blocchi. I parametri di calibrazione vengono quindi immessi per stabilire la scala fisica all'interno dell'immagine. Il video viene quindi ritagliato per eliminare le aree non necessarie del campo visivo e ridurre al minimo la quantità di immagine che richiede l'elaborazione, il che a sua volta riduce al minimo il tempo di elaborazione necessario all'algoritmo per l'esecuzione. Nella fase successiva i canali di colore RGB vengono separati e sogliai individualmente utilizzando le caratteristiche della tuta di copertura. I canali RGB sono stati quindi ricombinati per produrre una singola immagine binaria. Un algoritmo di tracciamento dei limiti è stato applicato all'immagine binaria per tracciare l'area di interesse (ADI), cioè il corpo del nuotatore.

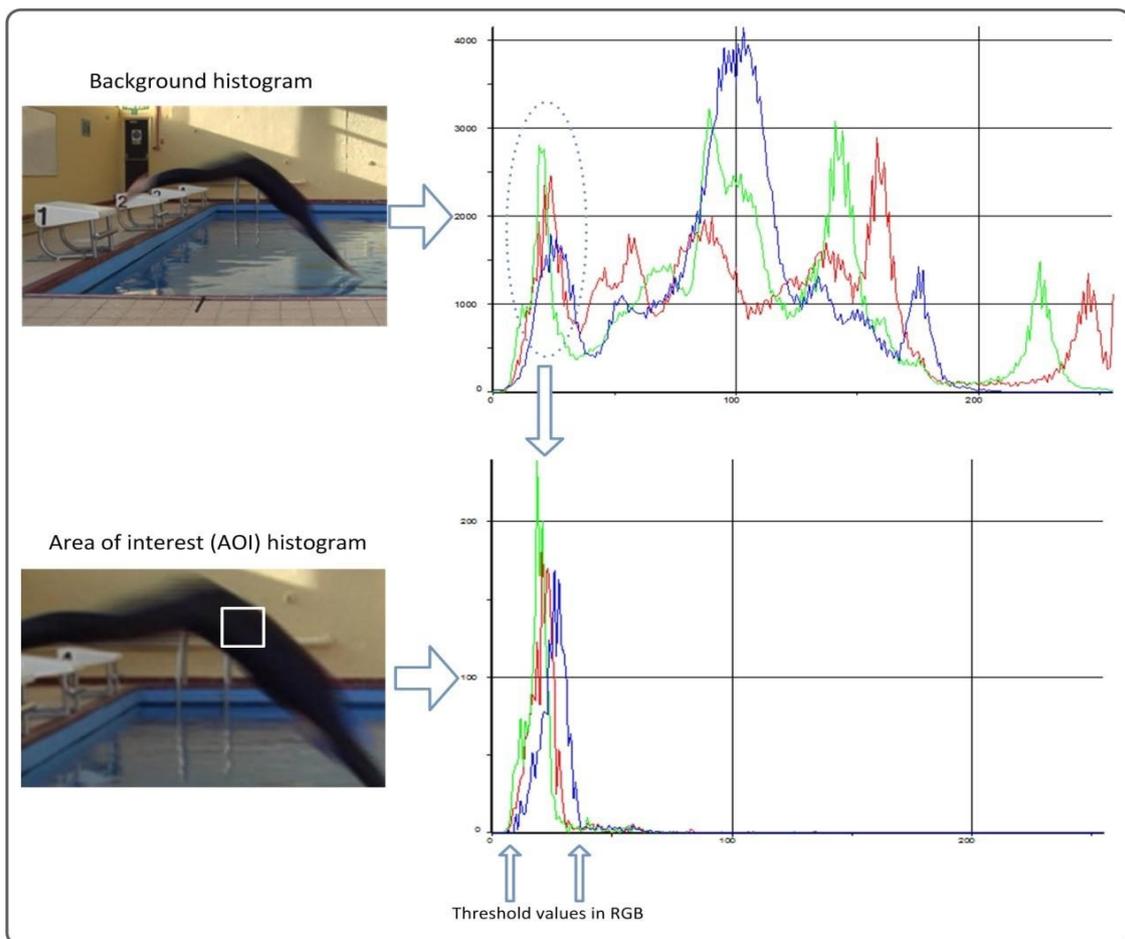


Figura 4-5: Osservazione degli istogrammi dell'immagine RGB per un oggetto completo e AOI all'interno di un'immagine

L'attuale tendenza per i nuotatori professionisti è quella di indossare indumenti per tutto il corpo che coprono dai polsi alle caviglie. L'uso di un costume da bagno colorato uniforme come caratteristica unica nell'immagine potrebbe aumentare il successo dell'algoritmo di soglia per differenziare in modo robusto il nuotatore dallo sfondo utilizzando metodi automatici. Per evitare i precedenti problemi con l'ombreggiatura, al nuotatore è stato chiesto di indossare un indumento di controllo scuro.

Gli istogrammi delle immagini sono stati utilizzati per determinare i parametri di soglia per il costume da bagno completo. Sia i canali di colore HSV che RGB sono stati valutati in questa prova. Esaminando gli istogrammi dell'immagine divenne evidente che c'era un maggiore potenziale di successo usando la soglia RGB sopra l'HSV. Quando si confronta l'istogramma di sfondo con il costume da bagno nello spazio colore RGB, le proprietà della tuta potrebbero essere chiaramente isolate come caratteristica nell'istogramma di sfondo (confronta le immagini nella Figura 4-5). Tuttavia, negli istogrammi equivalenti all'HSV questa tendenza non era così evidente (confronta la Figura 4-6). La chiara discriminazione della tuta (cioè i valori RGB) all'interno dell'immagine grezza dà maggiore fiducia nella potenziale capacità di isolare la tuta come componente all'interno dello sfondo.

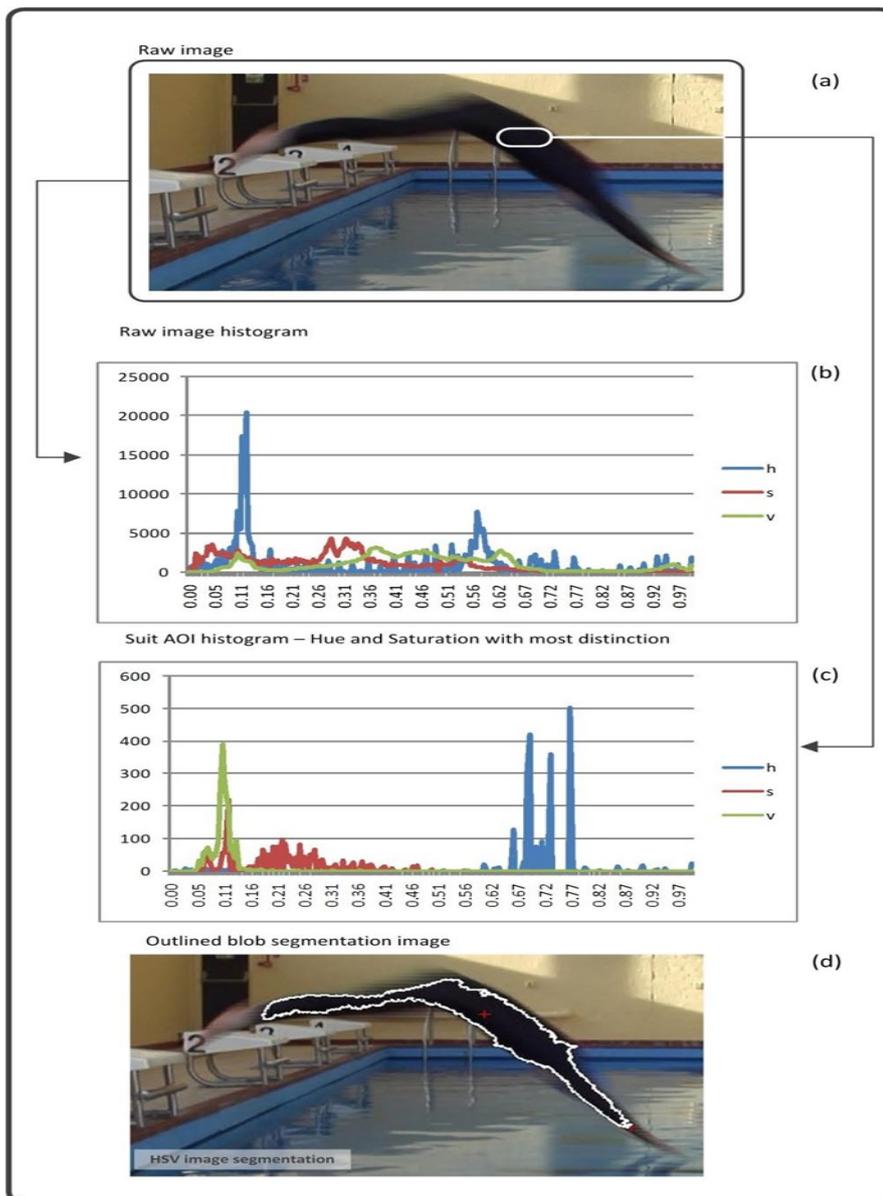


Figura 4-6: Osservazione degli istogrammi delle immagini HSV per un'immagine completa e AOI all'interno di un'immagine

Per testare la robustezza dell'algorithmo sviluppato, sono state analizzate 20 immersioni utilizzando sia metodi manuali che automatizzati di misurazione dell'angolo. Come discusso in precedenza, ogni immersione è stata misurata a mano tre volte e la media è stata presa come "angolo di immersione".

I risultati indicano che 17 delle 20 immersioni rientravano in una deviazione standard della media misurata a mano, cioè entro $\pm 1,1^\circ$, cioè l'85% delle immersioni analizzate. Le tre immersioni rimanenti sono cadute tutte entro \pm due deviazioni standard. Questi risultati hanno dato fiducia nella capacità dell'algorithmo di misurare con precisione l'angolo di immersione nelle prove ripetute.

L'uso del costume da bagno completo aveva due limiti principali: (i) i punti di riferimento del corpo (ad esempio polso, gomito, spalla) dovevano essere approssimati dato il limite tracciato e (ii) il feedback degli utenti finali ha espresso preoccupazioni sugli aspetti pratici nel dover indossare una tuta per consentire l'analisi. Anche considerando l'accuratezza e la robustezza dell'algoritmo, l'utilizzo di un costume da bagno completo (cioè intero) è stato considerato impraticabile tra allenatori e nuotatori visto che ha un impatto troppo grande sull'attuale processo di analisi delle partenze da adottare.

4.1.2.3 Soglia spaziale: marcatori

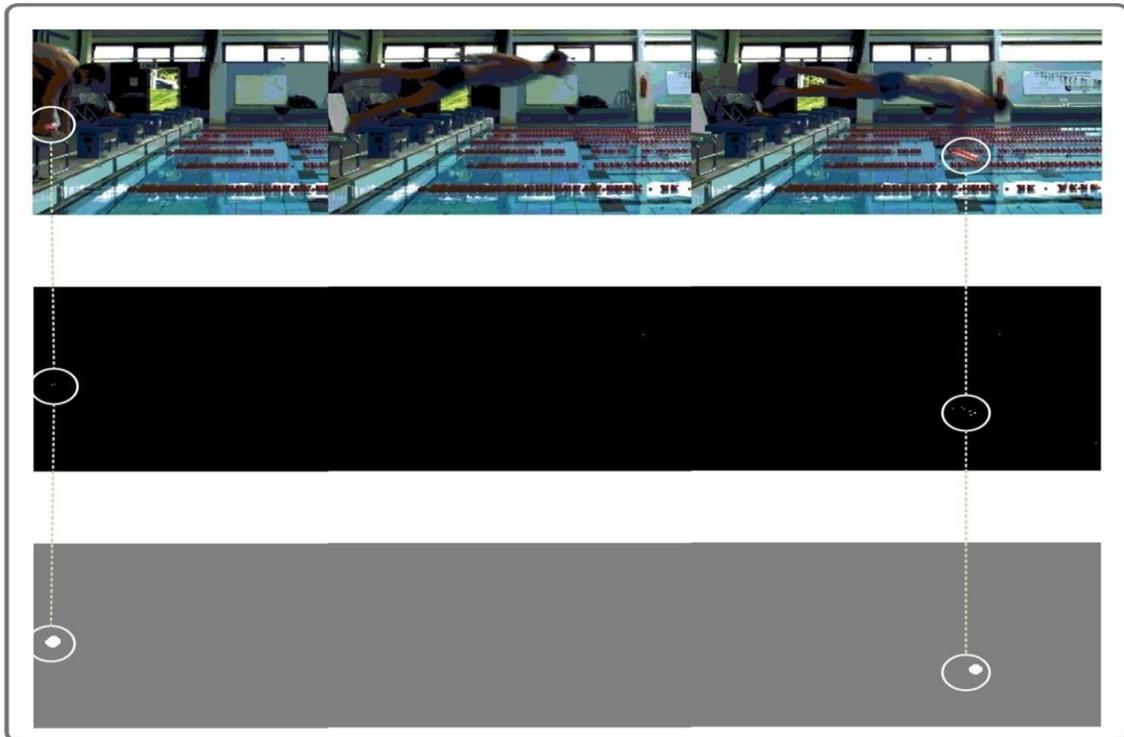


Figura 4-7: Tracciamento di un marcatore LED indossabile attraverso un blocco di nuoto

È stato sviluppato un pennarello ottico leggero (che utilizza diodi emettitori di luce rossa auto illuminante (LED)) che potrebbe essere indossato dal nuotatore su specifici punti di riferimento del corpo, come il polso, l'anca e la caviglia. Questi marcatori sono stati progettati per massimizzare il rapporto segnale/rumore nell'ambiente della piscina, il che era essenziale data le loro dimensioni limitate all'interno del campo visivo della telecamera.

Le tecniche di soglia (usando il valore RGB) sono state utilizzate per isolare il marcatore LED dallo sfondo per monitorarlo attraverso il campo visivo nell'analisi di un'immersione (vedi Figura 4-7). La frequenza dei LED consente di rintracciare facilmente i marcatori all'interno delle immagini. Tuttavia, la direzionalità del LED era tale che, a seconda dell'orientamento del braccio dei nuotatori, a volte era occluso (vedi Figura 4-7). La seconda revisione del design ha localizzato i LED intorno all'intera circonferenza dell'arto (utilizzando un substrato di circuito flessibile) per aumentarne la visibilità in tutti gli orientamenti.

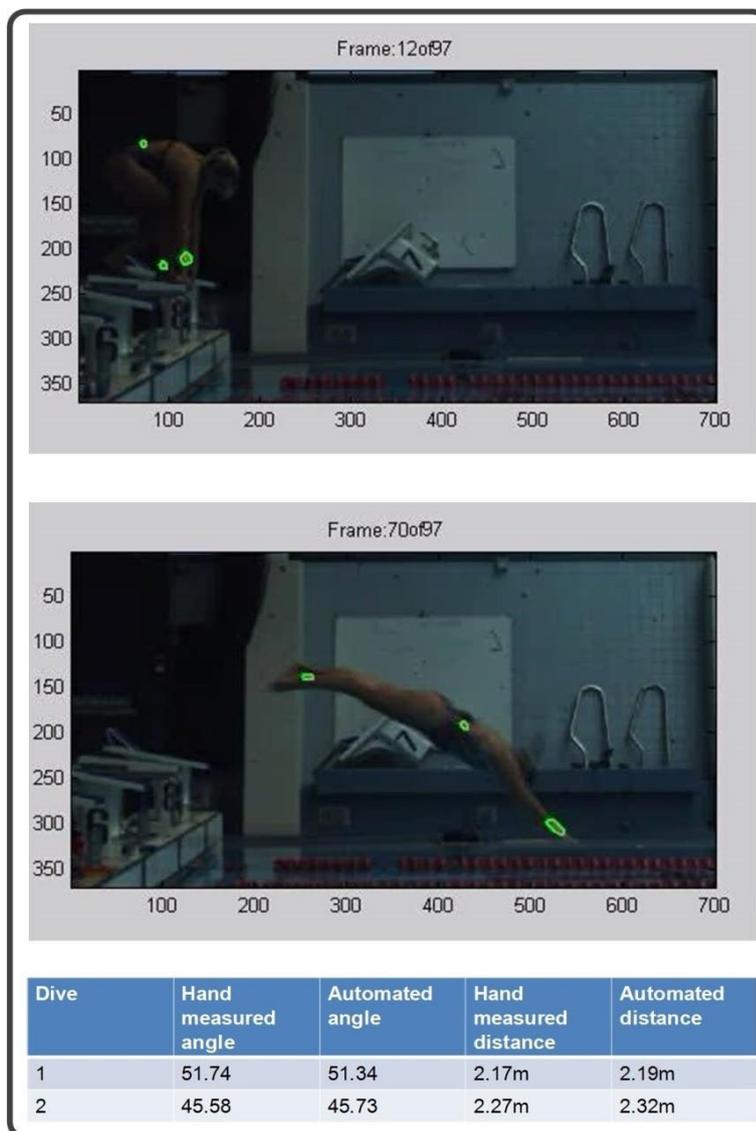


Figura 4-8: Tracciamento dei marcatori LED di seconda generazione durante la partenza da un blocco di nuoto

Tre marcatori LED di seconda generazione sono stati posizionati sul polso, sull'anca e sulla caviglia di un nuotatore per indagare sulla robustezza e sulla precisione del sistema di marcatori. Come nei casi precedenti, sono state effettuate misurazioni manuali per analizzare l'angolo di ingresso del nuotatore e la distanza dalla parete in cui sono entrati nella piscina. Un algoritmo automatizzato è stato utilizzato per determinare gli stessi parametri monitorando i marcatori LED, utilizzando i metodi di soglia descritti in precedenza.

In questa analisi preliminare sono state analizzate in dettaglio solo due immersioni. Si è constatato che, utilizzando l'analisi automatizzata, gli angoli di immersione erano rispettivamente di $51,34^\circ$ e $45,73^\circ$, contro $51,74^\circ$ e $45,58^\circ$ per le tecniche manuali (cfr. Figura 4-8). La differenza tra le

misurazioni era rispettivamente di 0,4° e 0,15°. Queste differenze non sono significative data la tipica variabilità intra-persona delle misurazioni manuali, cioè 1,1°. Allo stesso modo l'algoritmo ha stimato la distanza di ingresso a +2cm e +5cm l'equivalente misurato manuale.

Le tecniche basate sulla visione hanno permesso l'analisi automatizzata delle misurazioni delle prestazioni principali identificate nei requisiti degli stakeholder (ad esempio tempo di entrata, angolo di ingresso, distanza di ingresso). Tuttavia, parametri come il tempo per il primo movimento e il tempo di blocco non potevano essere estratti con sicurezza data la risoluzione delle tecniche di elaborazione delle immagini.

4.2 Misurazioni delle prestazioni durante la fase di blocco utilizzando la tecnologia della piastra di forza

Il miglioramento nella parte iniziale di una partenza dipende dalla comprensione di come l'atleta risponde al trigger di partenza e genera velocità in avanti sui blocchi di partenza. La comprensione dettagliata può essere raggiunta al meglio instrumentando i blocchi di partenza (cioè per la misurazione forza-tempo) e integrandosi con altre tecnologie di misurazione (ad esempio sistemi di visione, accelerometri). Utilizzando il blocco di partenza instrumentato sviluppato a Loughborough sono stati raccolti dati sulla forza di un certo numero di nuotatori che eseguono un inizio di blocco. Lo scopo era quello di determinare le informazioni sui parametri richiesti: *Tempo dalla pistola al primo movimento*, *Tempo di blocco*, *Tempo di ingresso*, *Distanza di entrata* e *Velocità fuori dai blocchi*. È stato inoltre previsto che altri indicatori di performance possano essere determinati dai profili di forza registrati.

L'acquisizione dei dati è stata avviata da un trigger analogico fisico nel blocco iniziale che ha anche generato un segnale audio per avvisare l'atleta di iniziare. Un trigger di acquisizione simultanea è stato inserito nella videocamera. Ciò ha permesso di sincronizzare i dati video e di forzatura e quindi le funzionalità del profilo di forza potevano essere attribuite alle azioni viste sul video. *Il tempo dalla pistola al primo movimento* può essere facilmente distinto come il tempo dal grilletto al momento in cui i profili di forza iniziano a deviare dai livelli di base. Inoltre, quando il piede posteriore esce dal blocco durante un inizio di partenza, viene prodotto un passo nel profilo di scarico sia negli assi y che z. Quindi *il tempo di blocco* può essere facilmente determinato come il tempo tra il trigger di avvio e il momento in cui i profili di forza si depositano a un valore scaricato.



Figura 4-9: Orientamento degli assi sul blocco iniziale in strumentato

4.2.1 Calcolo dei parametri dai dati di forza

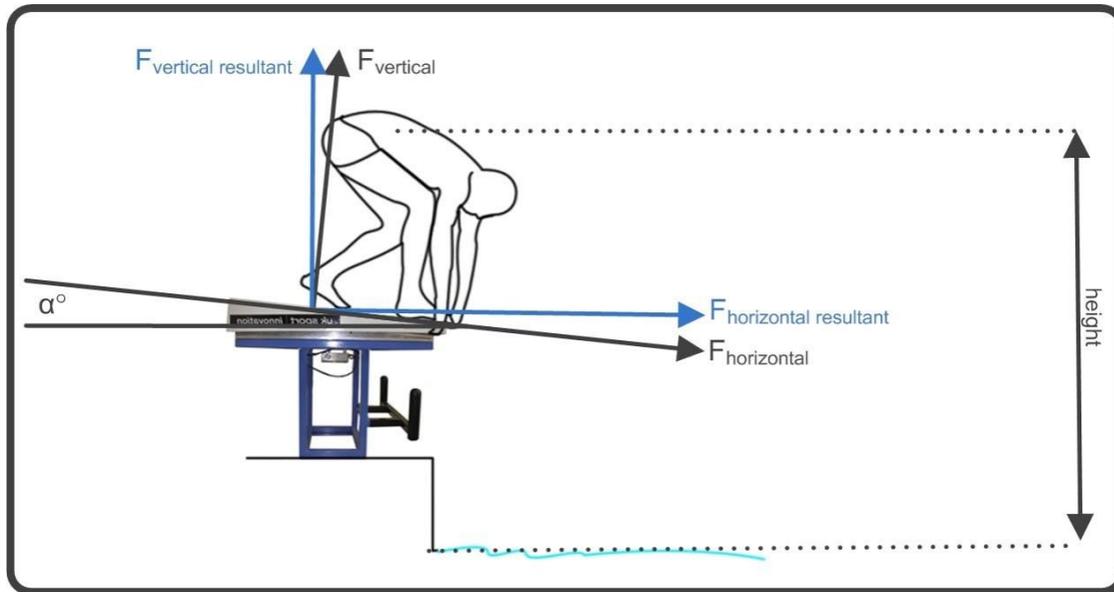


Figura 4-10: Forze risultanti fuori dai blocchi

Le fasi iniziali dalla partenza fino all'ingresso in acqua dipendono totalmente dalle forze generate sul blocco. Una volta che l'atleta ha lasciato il blocco con una velocità iniziale dovrebbe essere possibile determinare il tempo di ingresso e le distanze dalle leggi del moto di Newton.

4.2.1.1 Prevedere la velocità usando la relazione impulso – tempo

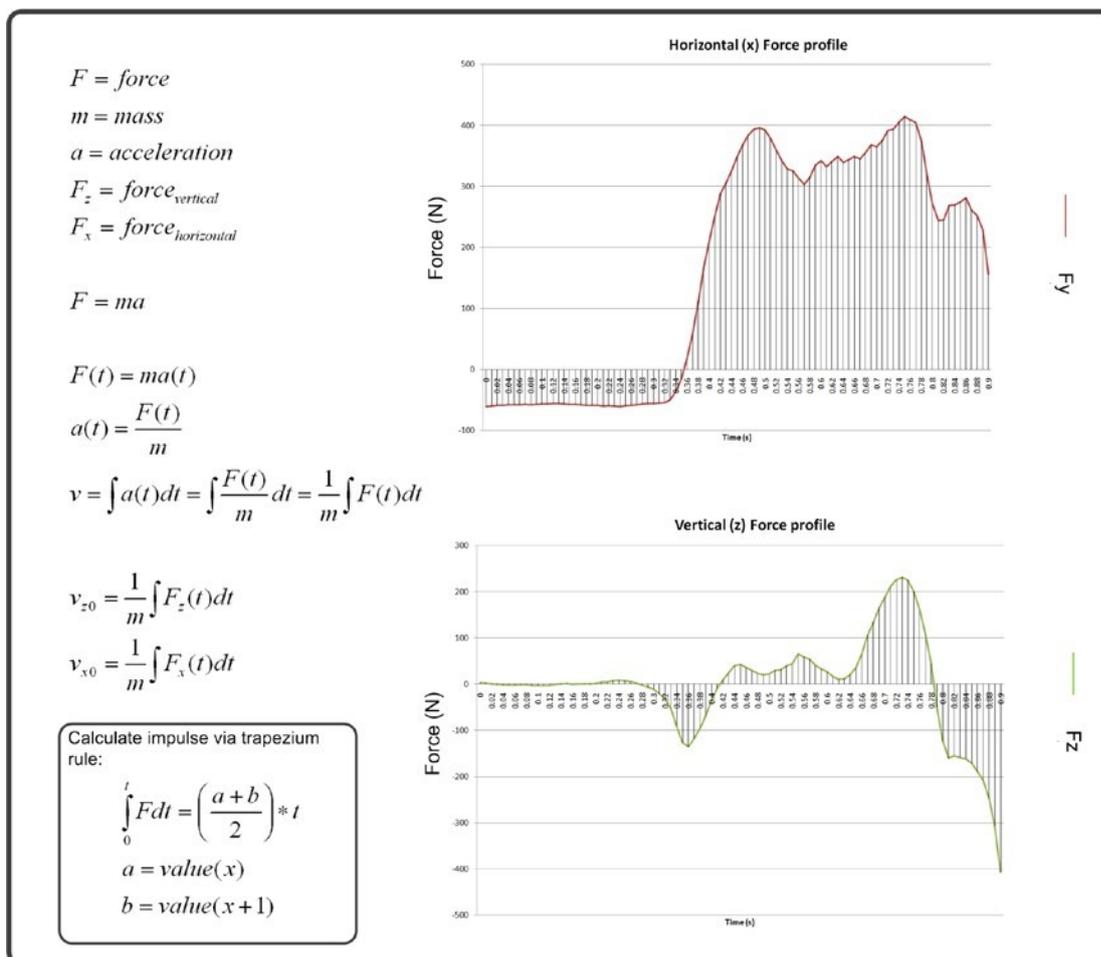


Figura 4-11: Previsione della velocità fuori dai blocchi utilizzando i dati di forza

I componenti *orizzontale*(v_{y0}) e *verticale*(v_{z0}) della velocità del nuotatore al di fuori dei blocchi possono essere previsti dai rispettivi profili forza-tempo (cioè impulso) come indicato nella Figura 4-11. Essenzialmente le velocità possono essere determinate calcolando l'area sotto il rispettivo profilo e dividendo per la massa del nuotatore. I limiti dell'integrazione devono essere scelti con cura.

La conoscenza delle componenti della velocità consente il calcolo del tempo di volo, della distanza di volo e delle velocità di ingresso usando equazioni standard del moto. Il calcolo del tempo di volo (e successivamente della distanza dall'ingresso) del nuotatore richiede che l'altezza del centro di gravità del nuotatore rispetto alla linea di galleggiamento sia nota come si trovava sui blocchi.

4.2.1.2 Previsione del tempo e della distanza di volo

Il *tempo di volo* moltiplicato per la velocità orizzontale prevista al decollo viene utilizzato per generare una stima della distanza di volo.

4.3 Risultati delle previsioni dei dati di forza

I dati di forza sono stati utilizzati per prevedere la *velocità orizzontale* della forza istantanea (FPHV) del nuotatore quando lascia il blocco di partenza. L'intervallo dell'integrale utilizzato per queste previsioni era dal *tempo zero*, cioè l'inizio della cattura (il punto in cui il segnale di partenza è stato attivato), al punto in cui il blocco è stato completamente scaricato.

Per le immersioni analizzate l'*FPHV* ottenuto dai dati della piastra di forza è inferiore alla velocità *orizzontale digitalizzata* (DHV) equivalente in media del 28%, (con una deviazione standard del 4%).

4.3.1. Previsione del tempo e della distanza di volo

Il *tempo di volo* del nuotatore dipende dal punto scelto per determinare l'ingresso in acqua (ad esempio punta delle dita, testa, centro di massa). La *forza prevedeva che il tempo di volo* (FPFT) fosse determinato usando la velocità verticale prevista dalla forza (FPVV).

La *distanza di volo* prevista dalla forza (FPFD) è determinata moltiplicando l'*FPHV* per l'*FPFT*.

4.4 Parametri di partenza derivabili dai dati di accelerazione

Sono stati intrapresi test pilota in cui sono stati raccolti set di dati integrati completi, comprendenti dati sincronizzati di visione, forza e accelerazione. L'aggiunta del componente di accelerazione facilita la misurazione automatica di parametri aggiuntivi tra cui il tempo di prima corsa dall'inizio, il *conteggio dei tratti* e il *tempo di virata*. Il video sincronizzato è stato utilizzato per supportare l'identificazione delle funzionalità evidenti nei dati di accelerazione. Le firme di accelerazione all'interno delle fasi di blocco, volo e planata non sono state stabilite nell'ambito di questi primi test pilota, tuttavia, i lavori futuri dovrebbero cercare di accertare questi profili.

La combinazione di tutti i componenti di misura consente un'analisi più completa delle prestazioni di nuoto. I dati sulla forza sono particolarmente efficaci nel fornire informazioni sulla fase di blocco e sui parametri di volo iniziali del nuotatore. Tuttavia, isolatamente, i parametri derivati dai dati sulla forza fornirebbero solo informazioni limitate sulle prestazioni di partenza complessive. I dati di accelerazione sono utili per stabilire parametri come l'avvio del tratto, il conteggio dei tratti e la temporizzazione del giro. Tuttavia, è necessaria un'ulteriore analisi video integrata ad alta velocità per consentire di comprendere completamente i profili di accelerazione durante le fasi di blocco e volo.

5. CASO DI STUDIO - NUOTO LIBERO

	Semplice	Composta
Nuoto libero	<ul style="list-style-type: none"> • Numero di tratti • Distanza percorsa • Durata corsa Rotazione durante la corsa: longitudinale e verticale • Variazioni di corsa cicli tempi intermedi 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenza dei tratti • Velocità di nuoto: Variazioni di velocità durante un ciclo di corsa • Indicatori di competenza

Tabella 5-1: Requisiti per i parametri di misurazione del nuoto libero

I requisiti di misurazione per il nuoto libero sono elencati nella Tabella 5-1. Distanza percorsa e velocità di corsa (evidenziata in grassetto) sono i parametri attualmente monitorati e questi determinati solo per l'analisi di gara. Poiché i parametri devono essere ottenuti manualmente non vengono monitorati regolarmente durante l'allenamento. La ricerca dettagliata in questo capitolo si concentra sulla misurazione dei parametri elencati nella Tabella 5-1 in modo affidabile e tempestivo utilizzando i dati di accelerazione wireless integrati con i componenti di visione e temporizzazione manuale.

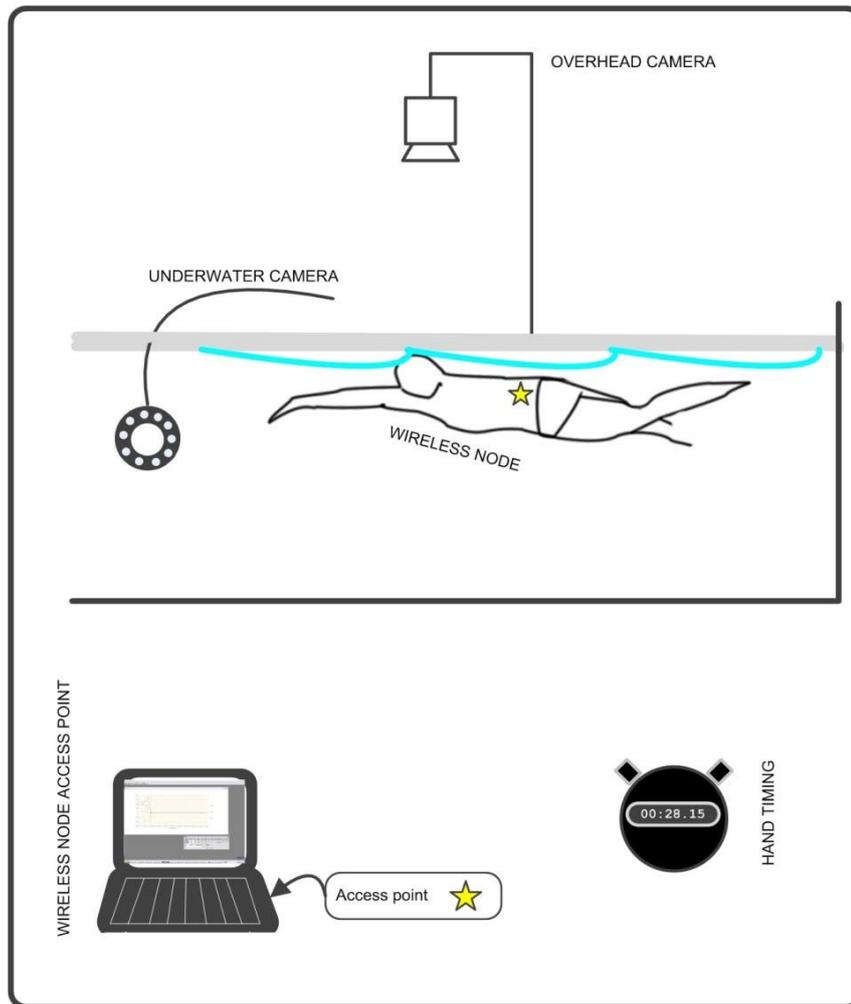


Figura 5-2: Componente impostato per test di nuoto libero

Sono stati testati metodi di visione per l'analisi automatica del nuoto libero, in particolare sono stati usati la soglia spaziale della pelle, cuffie e marcatori sia per applicazioni sopra che sotto l'acqua. Vengono discussi il rumore associato alle caratteristiche della scena subacquea e vengono dettagliati i metodi per massimizzare il segnale al rumore.

I parametri per nuoto libero che possono essere derivati dai dati di accelerazione sono dettagliati in questo capitolo. Vengono valutati i metodi del dominio del tempo e della frequenza e vengono formulate raccomandazioni per le tecniche di maggior successo per l'elaborazione del segnale dei dati di accelerazione. È stata inoltre utilizzata una piccola piattaforma di sensori inerziali portatili per studiare il movimento dei nuotatori.

5.1 Metodi di visione per l'analisi automatizzata del nuoto libero

La ricerca dettagliata in questa sezione si concentra sulla determinazione di come le tecniche di visione possono essere utilizzate per caratterizzare le prestazioni di nuoto libero. Dei parametri elencati nella Tabella 5-1, è stato previsto che il *conteggio dei tratti*, la *distanza percorsa*, la *durata della corsa*, le *variazioni nei cicli di corsa*, la *velocità di corsa*, la *velocità di nuoto*, le *variazioni di velocità durante un ciclo di corsa* e il *tempo a 15 m* possano essere determinati utilizzando l'analisi automatica della visione. Tuttavia, per una copertura completa della piscina sarebbe necessaria una telecamera situata su una pista o un sistema che integri più telecamere. Gli aspetti pratici dell'attuazione di una copertura completa hanno quindi limitato l'analisi alla determinazione di un cancello di temporizzazione basato sulla visione per determinare il tempo in cui un nuotatore passa distanze predefinite.

5.1.1 Tracciamento dell'acqua mediante soglia spaziale: applicazione del cancello di temporizzazione

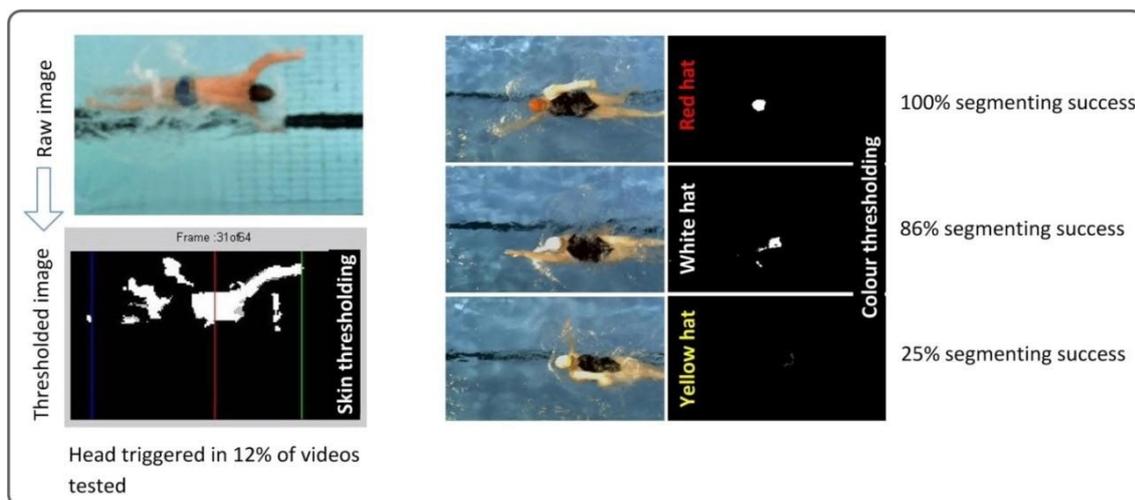


Figura 5-3: Esempio di soglia della pelle e del colore per una telecamera di visualizzazione del piano di nuoto libero

La testa del nuotatore è stata scelta come punto di riferimento fisso per la registrazione dei tempi. Una webcam standard è stata montata sopra una corsia e utilizzata per registrare il nuotatore mentre passava attraverso il campo visivo. Le preoccupazioni principali erano di differenziare la testa del nuotatore dall'ambiente della piscina estremamente rumoroso e garantire che la

ricodifica dei tempi non fosse pre-attivata né dal rumore né dalle braccia dei nuotatori. Per migliorare il rapporto segnale/rumore: (i) ai nuotatori è stato chiesto di indossare cuffie di colore diverso (rosso, bianco, giallo) e (ii) sono stati testati diversi algoritmi automatizzati di soglia di elaborazione delle immagini. Gli algoritmi utilizzavano sia la *soglia della pelle*, sia la soglia di colore blu, rosso, bianco e *giallo*, vedere la Figura 5-3. Ogni tecnica segmenta l'immagine entro limiti di soglia predefiniti e tiene traccia dell'AOI risultante all'interno del campo visivo. Quando l'AOI ha raggiunto il centro del telaio, l'ora viene registrata.

La soglia della pelle è stata testata su un totale di 74 prove ed è stata in grado di segmentare il nuotatore dallo sfondo quando il nuotatore si trovava sulla superficie dell'acqua o vicino alla superficie dell'acqua (cioè il 100% delle immagini). Quando il nuotatore era più profondo il successo della segmentazione è stato ridotto. La limitazione dell'algoritmo di soglia della pelle era l'incertezza riguardo a quale parte dell'anatomia o caratteristica del nuotatore all'interno delle immagini ha attivato la registrazione del tempo. La testa del nuotatore è stata trovata per innescare i tempi solo nel 12% dei video. Le braccia o le spalle del nuotatore avevano maggiori probabilità di causare un grilletto, rispettivamente del 64% e del 24%. L'altro problema era che la piccola scia che precedeva il nuotatore tendeva a innescare il sistema e non l'anatomia dei nuotatori. Ciò introduce variabilità nei tempi e sebbene piccolo, limita l'accuratezza dell'algoritmo.

A causa delle incertezze introdotte utilizzando la soglia della pelle, sono stati effettuati test in cui al nuotatore è stato chiesto di indossare una cuffia di un dato colore per evidenziare la testa nelle immagini. In totale sono stati analizzati 94 video. Le diverse scelte cromatiche hanno dimostrato una variabilità nella loro robustezza, cioè se la cuffia potesse essere effettivamente segmentata nel video. Il successo dell'algoritmo di soglia dipendeva in modo significativo dal colore della cuffia:

- 38 segmenti di video con cuffie rosse (100%)
- 24 segmenti di video con cuffie bianche (86%)
- 20 segmenti di video con cuffie blu (100%)
- 2 segmenti di video con cuffie gialle (25%)

Non sorprende che la cuffia rossa abbia avuto il maggior successo poiché non ci sono altre caratteristiche rosse evidenti all'interno dell'immagine (vedi Figura 5-3). Il successo con la cuffia blu è stato più sorprendente anche se è importante notare che nonostante il 100% delle immagini della cuffia blu si specifichi con successo, l'algoritmo di tracciamento AOI è stato limitato dalla presenza di ulteriore rumore blu nell'immagine (ciò è causato principalmente dai segni di linea sul fondo della piscina e costumi da bagno (vedi Figura 5-3). La tempistica basata sui grilletti della cuffia rossa era di gran lunga la più accurata e ripetibile poiché la testa poteva essere segmentata al 100% delle volte e l'incertezza nei tempi rispetto alla digitalizzazione manuale era all'interno di un frame.

5.1.2 Tracciamento subacqueo con soglia spaziale

Per osservare le posizioni e le velocità delle braccia, delle gambe e del busto all'interno del nuoto libero è necessario vedere il nuotatore da sotto l'acqua. Attualmente questo si ottiene utilizzando una telecamera a circuito chiuso impermeabile (CCTV) che viene posta dentro la piscina.

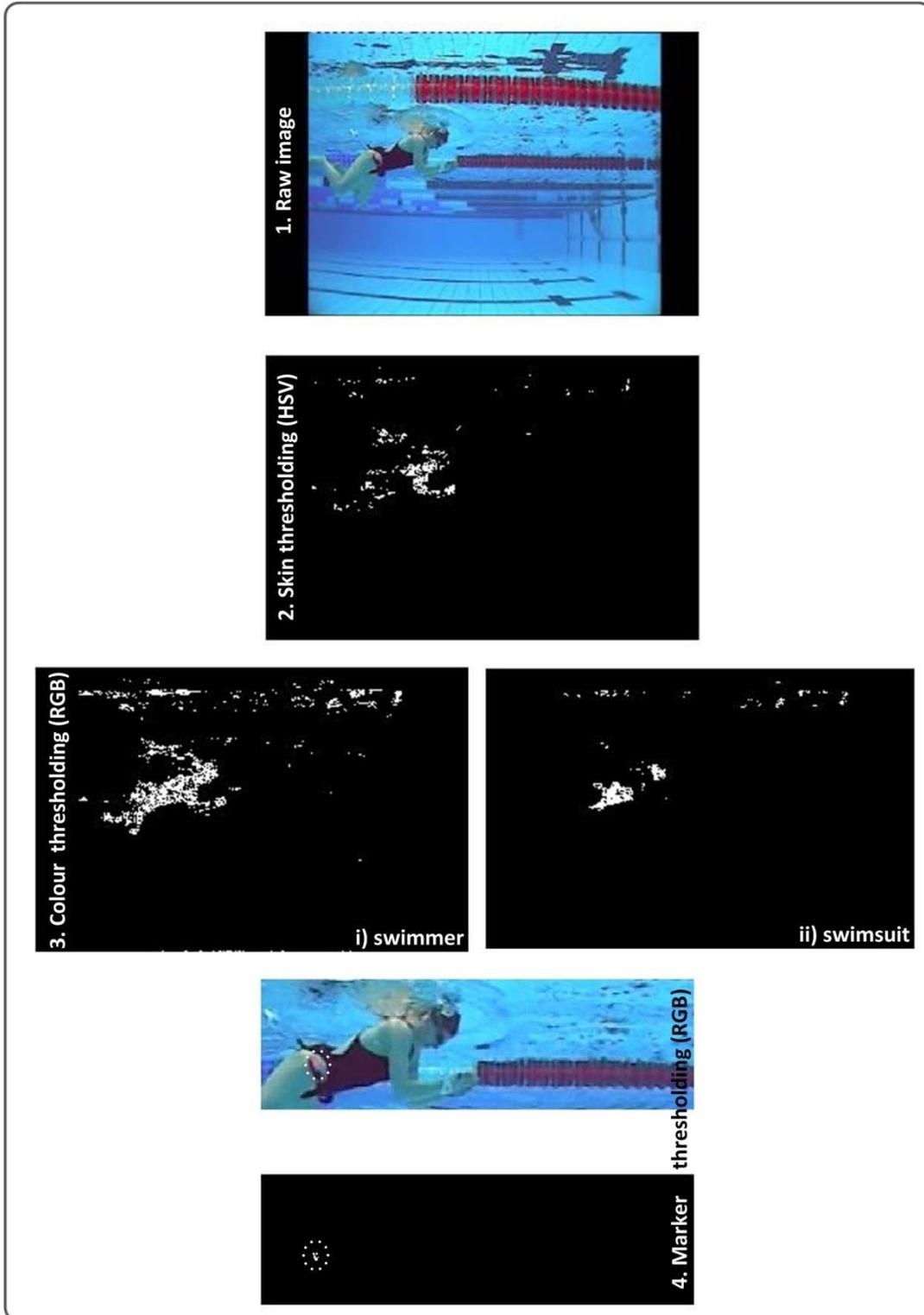


Figura 5-4: Esempi di soglia spaziale sott'acqua

La capacità di isolare il nuotatore dallo sfondo dato l'ambiente sottomarino è vitale per questa analisi della visione automatizzata, vedi Figura 5-4. Come per l'analisi della visione fuori acqua, sono stati testati diversi metodi per determinare la loro fattibilità per differenziare il nuotatore

dallo sfondo. Questi includono: *soglia della pelle (2)* , *soglia di colore (3.i) del nuotatore* e *soglia di colore (3.ii) del costume da bagno*, vedi Figura 5-4. Si è scoperto che le tecniche di soglia che utilizzavano canali di colore RGB producevano una grande quantità di rumore intorno alla forma del nuotatore all'interno dell'immagine segmentata. Massimizzare il rapporto segnale/rumore era essenziale per un sistema robusto.

La sovrapposizione di parti del corpo rende difficile determinare il movimento esatto del nuotatore, che è essenziale quando: (i) il monitoraggio della velocità di un nuotatore come posizione fissa deve essere monitorato nel tempo o (ii) guardando le abilità tecniche come le virate. Qualsiasi mancanza di fiducia nella posizione esatta del punto monitorato comporterà misurazioni errate della posizione del nuotatore e successivamente la velocità, la rotazione o altri parametri derivati da questa posizione. Per questo motivo l'uso di marcatori LED posizionati su punti di riferimento chiave è stato testato in applicazioni subacquee vedi Figura 5 -4.

Il test dei marcatori LED è stato effettuato collegando il marcatore all'anca dell'atleta durante le riprese utilizzando una telecamera CCTV impermeabile.

5.2 Parametri di nuoto libero derivati dai dati di accelerazione

I dati dell'accelerometro che utilizzano il nodo wireless sono stati utilizzati per fornire informazioni su tempistiche e corse nell'evento di nuoto libero.

Oltre ai tempi derivati dal nodo wireless, è stata registrata la temporizzazione manuale (cioè la pratica corrente) per consentire il confronto tra i due metodi. Si è scoperto che in media la tempistica derivata tramite il nodo wireless era inferiore alla misura manuale equivalente a tempo. Ciò può essere dovuto a: i) ritardi nel giudicare il momento in cui il nuotatore ha raggiunto la fine della corsia in tempi manuali o (ii) dall'incertezza in cui una parte della traccia dell'accelerometro identifica la fine di una lunghezza e l'inizio della successiva.

5.2.1 Analisi degli impulsi

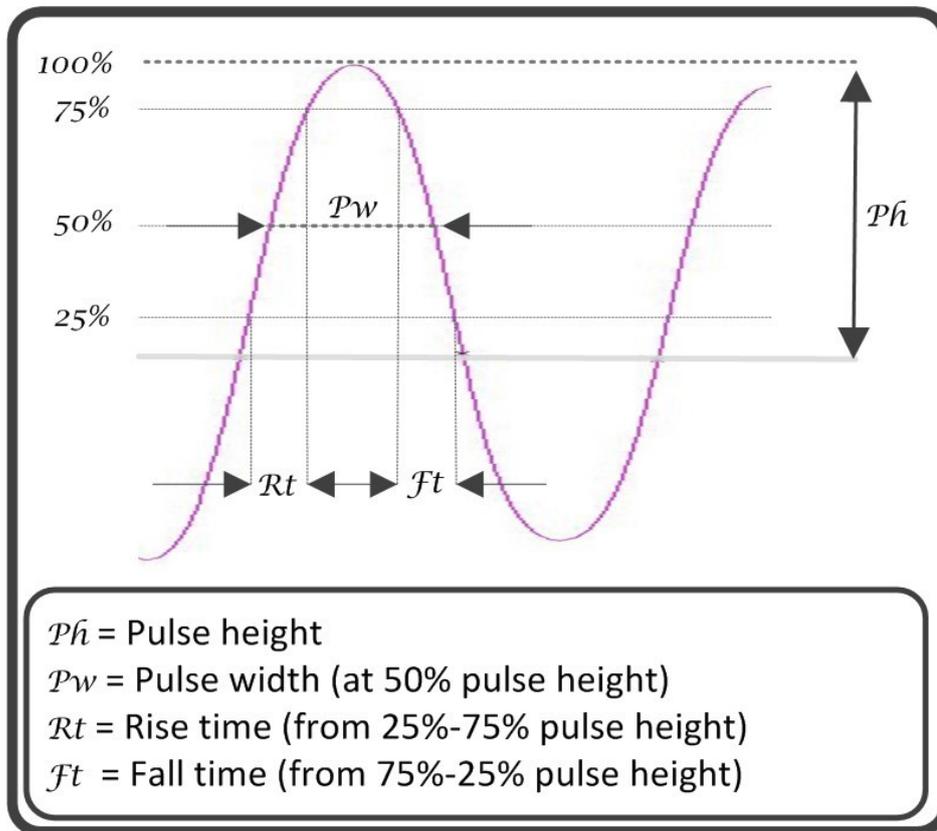


Figura 5-5: Un riepilogo dei parametri di misurazione dell'analisi dell'impulso

La *forma* delle tracce dell'accelerometro durante la fase di nuoto libero fornisce un'indicazione delle caratteristiche di corsa individuali del nuotatore. Un'analisi dettagliata di queste forme può essere utilizzata per fornire una registrazione delle variazioni di queste caratteristiche che a loro volta possono essere correlate a cambiamenti nelle prestazioni. L'analisi delle forme dell'accelerometro di nuoto libero ha incluso la misurazione di parametri quali l'altezza dell'impulso, la larghezza dell'impulso, il *tempo di aumento* e il *tempo di caduta* per i singoli colpi di nuoto (vedi Figura 5-5). L'altezza dell'impulso è stata stabilita come altezza massima di un dato picco, mentre la larghezza dell'impulso è stata calcolata come il tempo tra il segnale che raggiunge il 50% dell'altezza dell'impulso. Il *tempo di aumento* e il *tempo di caduta* sono stati calcolati come il tempo impiegato dal segnale per raggiungere il 75% di altezza dell'impulso dal 25% di altezza dell'impulso e viceversa.

5.2.2 Analisi nel dominio del tempo

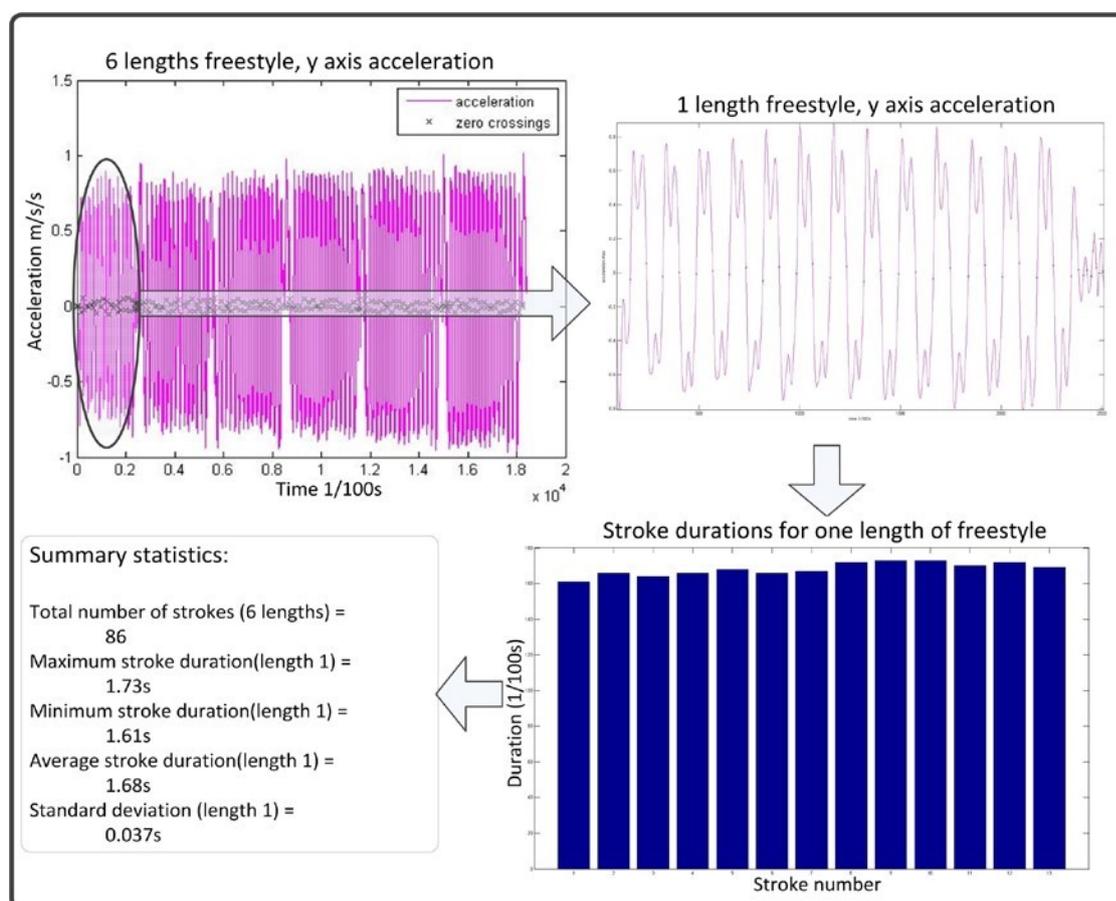


Figura 5-6: Analisi del nuoto libero utilizzando un algoritmo di incroci a zero

L'estrazione del numero di tratti e dei parametri di durata del tratto (vedere Tabella 5-1) dai dati dell'accelerometro di nuoto in stile libero nel dominio del tempo è illustrata nella Figura 5-6. I tempi in cui la traccia dell'asse y attraversa la linea zero (cioè usando un algoritmo di incroci a zero) vengono utilizzati per stabilire il punto in cui un tratto inizia e l'altro termina. Nell'algoritmo degli incroci zero i dati vengono inizialmente normalizzati (cioè le diagonali vengono rimosse) in modo che i valori siano incentrati su zero sottraendo la media da ogni membro del set di dati. Un incrocio zero viene identificato moltiplicando i punti dati consecutivi. Se il risultato è negativo, si è verificato un incrocio zero. Viene incrementato un contatore e viene registrato il tempo di questa traversata. Le differenze tra gli incroci forniscono informazioni sul conteggio dei tratti, sulla durata del tratto e sulle variazioni.

5.3.3 Analisi nel dominio di frequenza

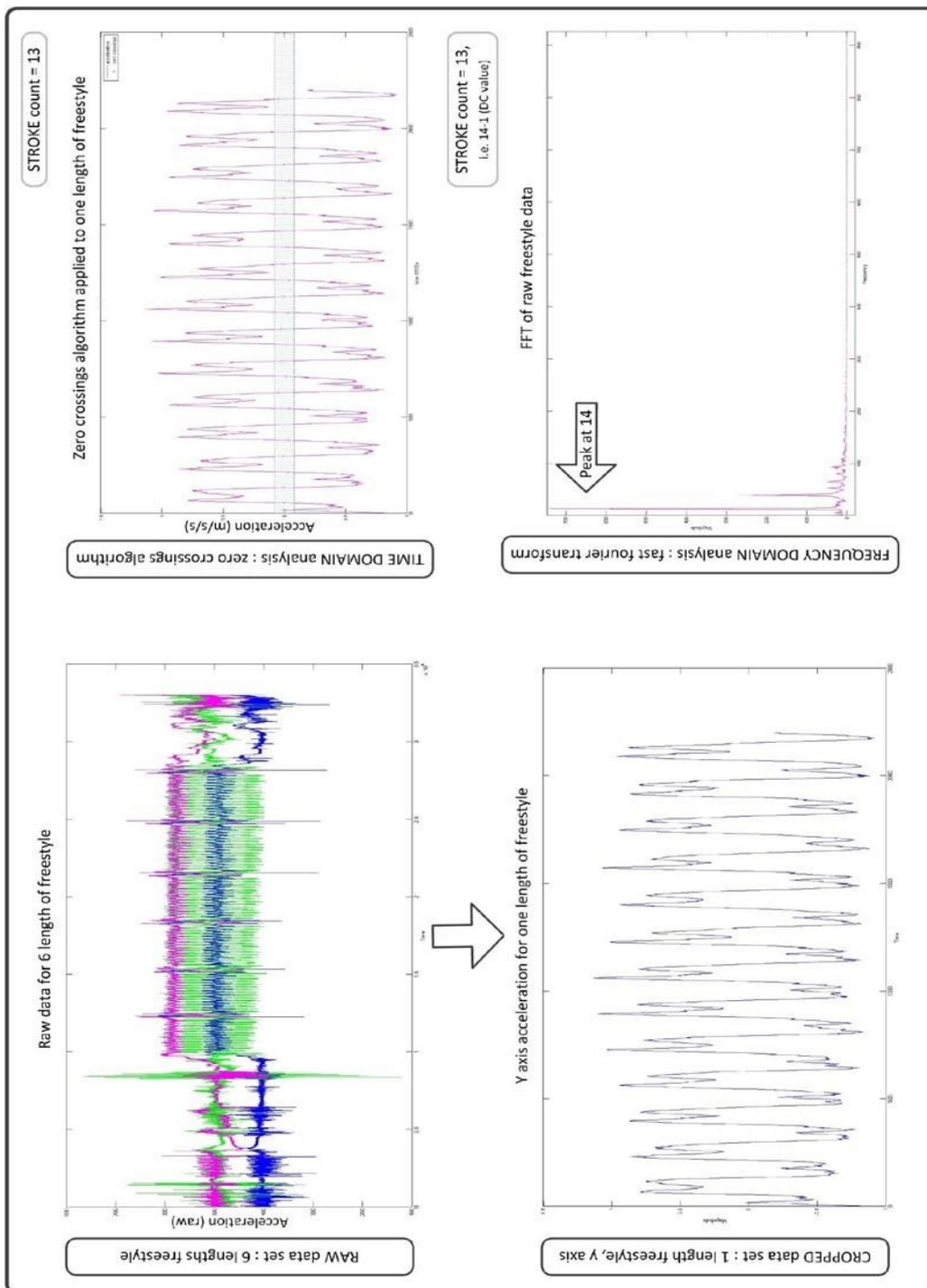


Figura 5-7: Confronto dei metodi del dominio del tempo e della frequenza per l'analisi della velocità di corsa

L'uso dell'analisi nel dominio del tempo è stato dimostrato come efficace nell'analisi dei dati di nuoto libero. L'analisi del dominio di frequenza è stata esplorata per stabilire il suo potenziale utilizzo nella derivazione dei parametri di prestazioni dai dati di nuoto libero. Lo stesso insieme

di dati (ritagliati per coprire una singola lunghezza) è stato analizzato utilizzando sia l'estrazione di feature di dominio di tempo che di frequenza, vedere Figura 5-7. È stato anticipato che a causa della natura ciclica del segnale dell'accelerometro di nuoto libero, la velocità di corsa può essere facilmente derivata usando una trasformata di Fourier veloce (FFT) per determinare le frequenze fondamentali presenti nel segnale. Si può concludere che la frequenza di corsa dei dati di nuoto libero potrebbe essere derivata utilizzando le caratteristiche del dominio del tempo o della frequenza.

I metodi nel dominio del tempo e della frequenza sono stati testati per l'analisi dei dati di accelerazione del nuoto a stile libero. È stato riscontrato che i dati potevano essere analizzati per stabilire il conteggio delle bracciate e le informazioni sui tempi (ad esempio durate delle bracciate, tempi di aumento e tempi di caduta). Questa analisi può essere raccolta per fornire un'indicazione delle prestazioni dei nuotatori.

5.3 Parametri di nuoto libero derivati utilizzando accelerometri a tre assi

In questo studio, un'unità di registrazione dell'accelerometro a 3 assi è stata attaccata all'osso sacro dei nuotatori dove l'effetto della rotazione corporea sulla direzione di accelerazione è ridotta al minimo. Il sensore è stato impostato per registrare i dati a 100 Hz. La posizione del sensore e il sistema di coordinate dei tre assi sono mostrati nella Figura 5-8. L'asse y rappresenta l'accelerazione nella direzione di nuoto, l'asse x il medio latero e l'asse z la direzione verticale.

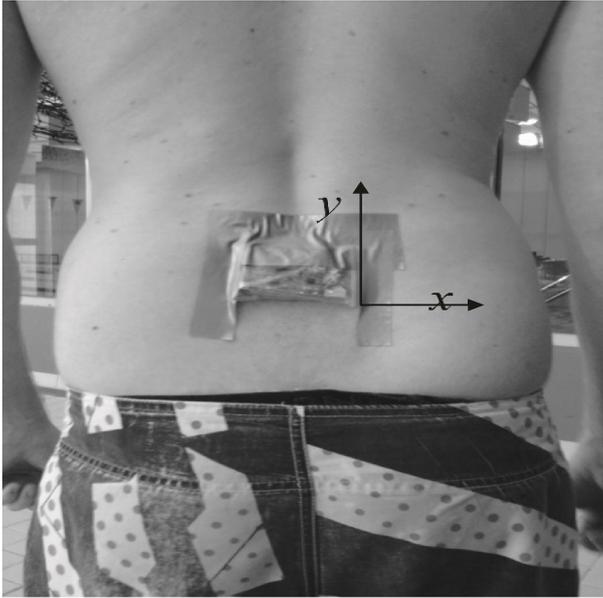


Figura 5-8: Piattaforma accelerometro nastrata e direzioni di accelerazione

Un misuratore è stato utilizzato per misurare i profili di velocità. Il dispositivo determina la velocità misurando il tempo necessario per 1 cm di linea che passa da un sensore ottico. È collegato a un computer che esegue la registrazione e sincronizza il video con i dati sulla velocità.

Al nuotatore è stato chiesto di eseguire più giri freestyle singoli a diverse velocità utilizzando un push-off in acqua all'inizio. L'esperimento è stato eseguito in una piscina coperta riscaldata di 25 m.

I tre componenti di *accelerazione* a_x , a_y , a_z e l'accelerazione totale a_{tot} sono mostrati nella Figura 5-9. La rotazione del corpo può essere vista sull'asse x che è la direzione medio laterale. L'accelerazione nella direzione di nuoto può essere vista sull'asse y. L'accelerazione totale (a_{tot}) mostra 1g se il nuotatore non sperimenta alcuna accelerazione a parte l'accelerazione gravitazionale.

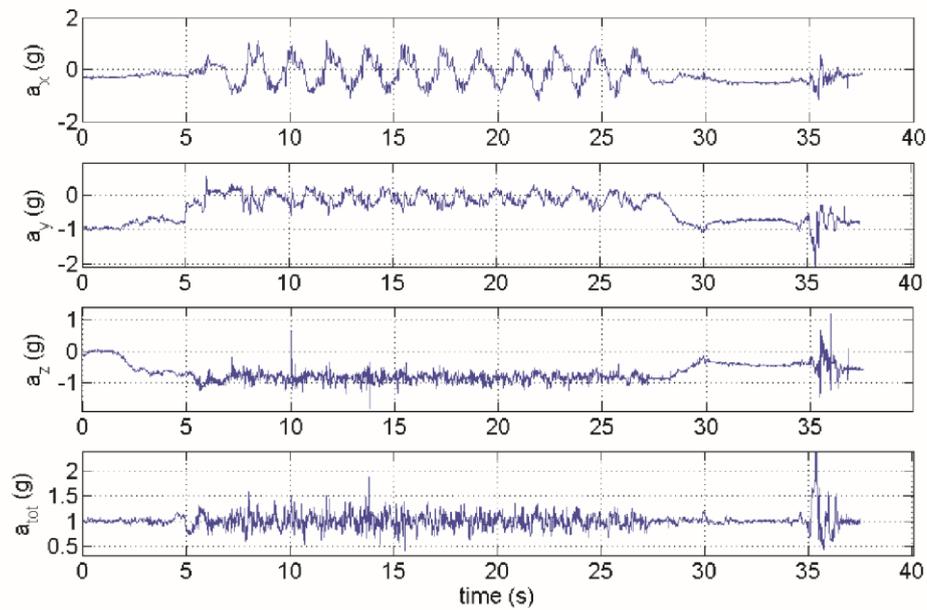


Figura 5-9: Dati di accelerazione per un solo giro di 25 m utilizzando il nuoto freestyle

Sono stati utilizzati due approcci per calcolare la velocità. Il primo era quello di utilizzare l'accelerazione in avanti (a_y), il secondo di utilizzare l'accelerazione totale (a_{tot}). La Figura 5-10 mostra la velocità del dispositivo collegato (nero), la velocità calcolata dalla direzione in avanti (blu) e la velocità calcolata dall'accelerazione totale (rosso).

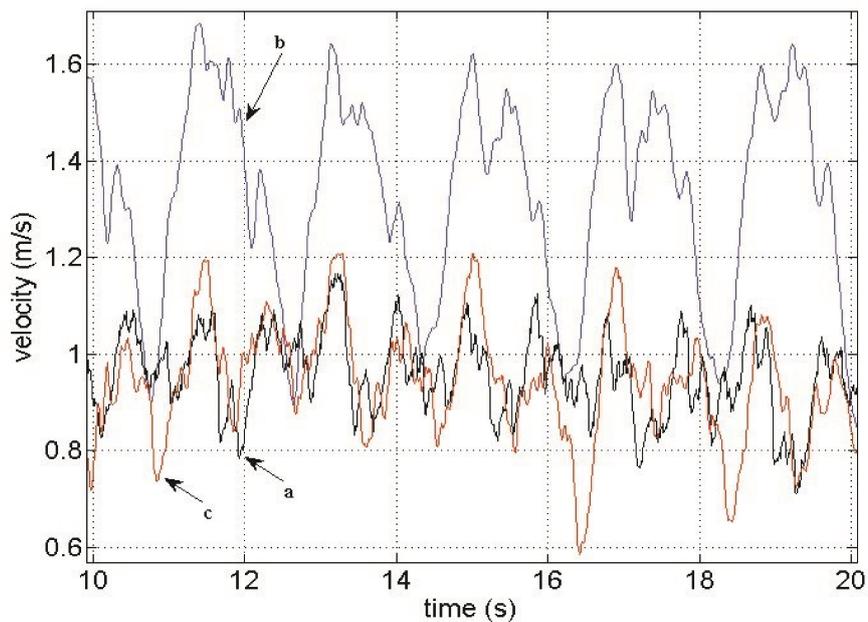


Figura 5-10: Confronto delle velocità utilizzando i due approcci

Capitolo 6

6. CASO DI STUDIO – VIRATE

	Semplice	Composta
Virata	<ul style="list-style-type: none">• Ultimo colpo alla parete Informazioni sulla• rotazione• Tempo di contatto con la parete• Durata del contatto con la parete• Profilo di profondità• Distanza di fuga• Tempi del primo tratto	<ul style="list-style-type: none">• Velocità in entrata/uscita della virata, anche planata, inizio del nuoto iniziale

Tabella 6-1: Requisiti dei parametri di misurazione della virata

Gli attuali parametri delle prestazioni di viratura, evidenziati in grassetto nella Tabella 6-1, richiedono tecniche manuali di analisi della visione per raccogliere misurazioni. Questi incorrono in costi elevati in termini di tempo, competenza dell'operatore e soffrono di variabilità intrinseca a causa della loro dipendenza dal giudizio umano. La ricerca delineata in questo capitolo si concentra sullo sviluppo di una soluzione/soluzioni in grado di fornire una visione più completa delle prestazioni di valutazione, coprendo la gamma di parametri di misurazione specifici elencati nella Tabella 6-1.

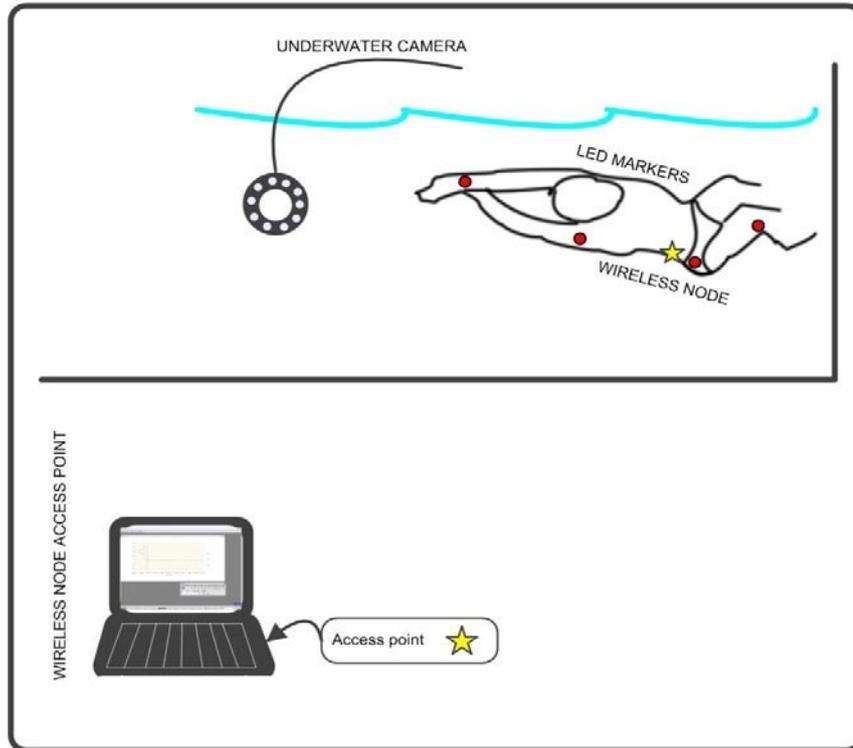


Figura 6-2: Componente impostato per il test della virata di nuoto

La ricerca dettagliata in questo capitolo riguarda lo sviluppo di componenti per l'analisi delle virate di nuoto. I dati di accelerazione wireless sono stati combinati con l'elaborazione delle immagini per formare la soluzione integrata vedere Figura 6-2. La visione fornisce un mezzo di riferimento che consente di comprendere le feature osservate nello spazio di accelerazione. L'obiettivo era quello di generare una soluzione robusta che arricchirebbe la quantità di informazioni disponibili sulle prestazioni di viratura utilizzando metodi efficienti in termini di tempo.

Viene presentato un metodo basato sulla visione per l'analisi automatizzata delle virate in cui i marcatori LED vengono utilizzati per tracciare i punti di riferimento del corpo. L'identificazione e la comprensione delle fasi di viratura nei dati di accelerazione sono dettagliate. Le fasi della virata sono identificate e classificate per consentire una comprensione più completa della virata. I risultati dell'analisi vengono presentati utilizzando grafici di processo statistici.

6.1 Analisi visiva automatizzata delle virate

Le informazioni visive sulla virata devono essere raccolte utilizzando sia sistemi sopra che sotto l'acqua. Il monitoraggio visivo della virata tumble è complicato dalla presenza di bolle che mascherano il nuotatore. Per questo motivo, è stato adottato un sistema di marcatori LED che creano un punto facilmente distinguibile sul nuotatore e possono essere robustamente segmentati dall'immagine di sfondo.

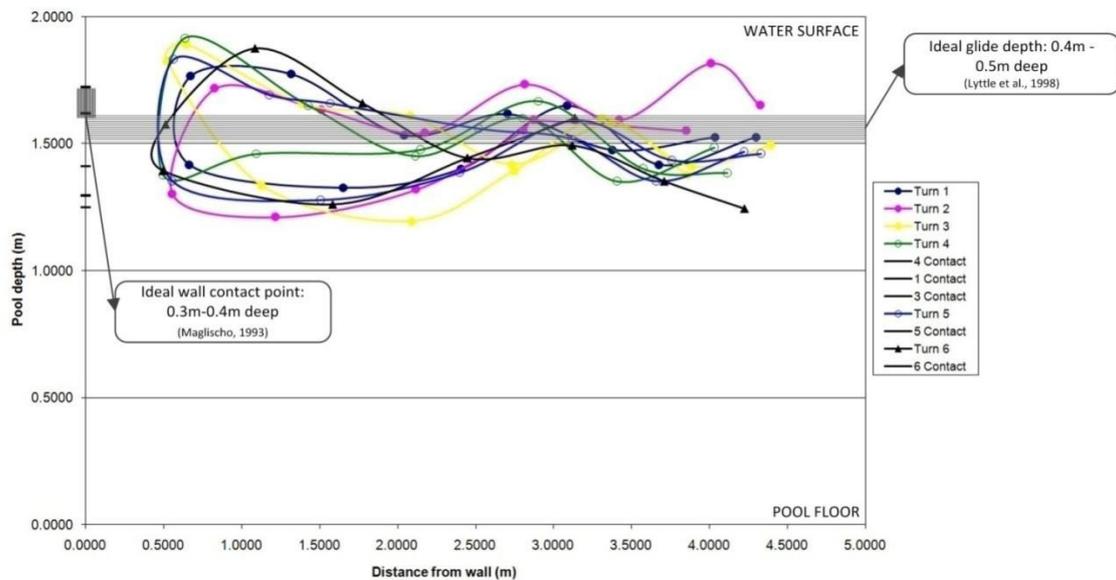


Figura 6-3: Analisi della viratura utilizzando il tracciamento di un marcatore LED utilizzando tecniche di visione automatizzate sviluppate

L'analisi della virata è stata effettuata per una serie di virate dove il nuotatore indossava un marcatore LED su ogni anca mentre eseguivano le virate, durante le quali è stato catturato il video subacqueo. Utilizzando metodi automatizzati di analisi della visione discussi in precedenza il marcatore è stato tracciato durante ciascuna delle virate e ogni percorso è stato tracciato su un unico grafico vedi Figura 6-3.

Il monitoraggio della posizione di un marcatore sull'anca durante una virata tumble consente di identificare parametri di prestazioni quali: informazioni sulla *rotazione*, *tempo di contatto con la parete*, *durata del contatto a parete*, *profilo di profondità*, *velocità in entrata/uscita* dalla virata (vedere Tabella 6-1) e accelerazioni del nuotatore in un determinato piano di movimento.

Nell'analisi precedente è stato dimostrato che l'uso di marcatori per tracciare un determinato punto di riferimento sul nuotatore ha il potenziale per fornire informazioni utili per fornire feedback sulle prestazioni di viratura. Il sistema LED fornisce marcatori distinguibili che possono essere sgliti dallo sfondo in un ambiente sottomarino e quindi migliorare significativamente l'analisi automatizzata del sistema di visione. A causa della natura della virata, alcune parti del nuotatore sono inevitabilmente occluse in determinate fasi. Queste occlusioni limitano l'uso di tecniche di visione in quanto i marcatori andrebbero persi e /o confusi con altri marcatori sul corpo.

6.2 Parametri della virata derivabili dai dati di accelerazione

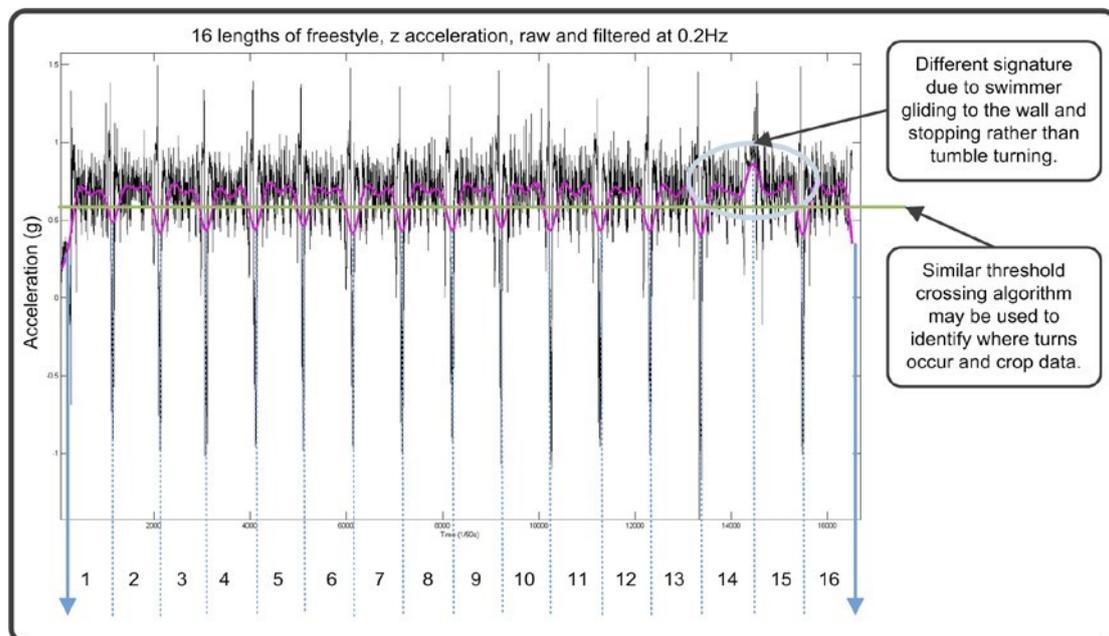


Figura 6-4: filtraggio dell'accelerazione grezza per identificare le virate nei dati

Per il nodo wireless situato sul fondo della schiena, l'asse z (verticale) della virata sperimenta grandi picchi positivi e negativi che possono essere chiaramente differenziati dal segnale di nuoto libero (vedi Figura 6-4). Ai dati possono essere applicati diversi metodi per isolare questi picchi.

7. CONCLUSIONI E LAVORO FUTURO

7.1 Riassunto della ricerca

L'obiettivo della ricerca dettagliata nell'ambito di questa tesi era quello di migliorare il feedback legato alle prestazioni nel nuoto. Una valutazione degli attuali metodi di analisi ha identificato un divario di capacità nel feedback quantitativo in tempo reale. Sono state sviluppate diverse tecnologie di componenti per produrre un sistema integrato per un'analisi approfondita delle prestazioni di nuoto in tutte le fasi della nuotata, cioè partenze, nuoto libero e virate. Questi componenti sono stati sviluppati per soddisfare due tipi di requisiti delle parti interessate. In primo luogo, i requisiti di misurazione, vale a dire ciò che l'utente finale voleva misurare. In secondo luogo, i requisiti di processo, vale a dire il modo in cui tali misurazioni sarebbero state effettuate. I componenti sviluppati hanno contribuito a nuove tecnologie e metodi per facilitare un'ampia gamma di parametri di misurazione utilizzando metodi automatizzati e l'applicazione di tecnologie per facilitare l'automazione delle tecniche attualmente applicate.

Si è concluso che un singolo componente non era in grado di fornire informazioni su tutti i parametri di misurazione specificati nei requisiti delle parti interessate e, pertanto, sarebbe stato necessario un sistema integrato. Era importante che tutti i componenti potessero essere controllati centralmente per consentire l'acquisizione sincronizzata dei dati. Il prototipo sviluppato includeva un nodo accelerometro wireless, indossato dai nuotatori, un blocco di partenza integrato con trasduttori di forza e un sistema automatizzato di analisi della visione sia per applicazioni sopra che sotto l'acqua.

Il sistema di visione automatizzato è stato sviluppato per ridurre la dipendenza dalle tecniche manuali per ricavare misurazioni quantitative dai dati video. La soluzione utilizzava marcatori LED indossabili per fornire un punto di riferimento distinguibile per il tracciamento sia nelle riprese video sotto che sopra l'acqua. L'utente finale preferiva l'uso di un marcatore in quanto era considerato la soluzione meno pesante che aveva un impatto minimo sulle sessioni di allenamento. L'uso di un marcatore ha anche permesso di intraprendere analisi più specifiche, poiché punti di riferimento espliciti potrebbero essere tracciati nel tempo e nello spazio.

Una piattaforma di partenza instrumentata ha prodotto dati più approfonditi durante la fase di blocco di una partenza di nuoto e ha permesso l'analisi automatizzata dei tempi. Inoltre, è stata esplorata la capacità di prevedere i parametri di volo dai dati di forza. I test preliminari hanno suggerito che le tecniche di previsione potrebbero essere efficaci, tuttavia, queste devono essere ulteriormente perfezionate prima di poter essere applicate con sicurezza.

Infine, è stata esplorata la fattibilità di un nodo accelerometro wireless indossabile.

L'automazione delle tecniche ha anche permesso di fornire risultati più affidabili/coerenti che sarebbero comparabili tra gli utenti del sistema, vale a dire che non sarebbero influenzati dall'analisi eseguita da persone diverse in momenti diversi.

7.2 Contributi alle nuove conoscenze

Questa tesi ha generato nuove conoscenze attraverso due percorsi di ricerca, e cioè lo sviluppo di *tecnologie componenti* e l'applicazione di *tecnologie componenti* per l'analisi delle prestazioni di nuoto.

Le tecniche manuali di analisi della visione sono state trovate come i metodi più diffusi applicati nelle attuali ricerche di nuoto. Questi richiedono risorse significative in termini di tempo e competenza dell'operatore e hanno subito una variabilità intrinseca a causa della dipendenza dal giudizio umano.

Questa tesi presenta una componente di analisi della visione automatizzata che è stata applicata sia nelle applicazioni sotto che sopra l'acqua per tutti gli aspetti del nuoto, cioè partenze, nuoto libero e virate. I marcatori LED rossi sono stati utilizzati per migliorare il rapporto segnale-rumore del marcatore all'interno dell'immagine, consentendo così una robusta segmentazione e tracciamento dell'immagine del marcatore. È stato notato che l'analisi automatica della visione nelle partenze e nelle virate era più efficace che nel nuoto libero, dove una singola telecamera limitava il campo visivo e non era in grado di analizzare sia per le fasi sotto che per quelle sopra l'acqua di un ciclo di corsa. La capacità di sincronizzare i dati del video con altri componenti ha

facilitato una comprensione più completa dei dati acquisiti dalla piastra di forza e dagli accelerometri, consentendo di allineare e comprendere meglio le caratteristiche nei set di dati.

All'interno della letteratura esaminata si è concluso che il principale inconveniente dell'utilizzo dei dati della piastra di forza per l'analisi delle partenze era la mancanza di conoscenza e comprensione di come utilizzare al meglio i dati risultanti. L'aggiunta di un componente della piastra di forza ha permesso di raccogliere dati comparabili relativi alle forze associate al blocco.

Questa tesi descrive lo sviluppo di una soluzione di nodi di comunicazione wireless che consente l'acquisizione e la trasmissione in tempo reale dei dati per un'analisi rapida a bordo piscina delle prestazioni di nuoto. Il sistema ha anche permesso a una più ampia rete di nodi di trasmettere dati contemporaneamente, offrendo l'opportunità di analisi di una squadra di nuotatori, piuttosto che di un singolo atleta.

7.3 Raccomandazioni per il lavoro futuro

Il lavoro futuro dovrebbe guardare alla conversione di questo sistema in una soluzione robusta che possa essere utilizzata per il monitoraggio quotidiano dei nuotatori in allenamento. La fattibilità del sistema è stata presentata per tutti gli aspetti del nuoto, concentrandosi su partenze a blocchi, nuoto a stile libero e virate tumble tuttavia è essenziale che la funzionalità del sistema sia estesa per affrontare le partenze di dorso, tutti e quattro gli stili della competizione, vale a dire stile libero, rana, dorso e farfalla, e tutti i tipi di viratura, cioè virate tumble, virate su dorso, rotazioni e le virate aperte utilizzate in farfalla e rana.

La sincronizzazione dei dati di ciascuno dei componenti è stata implementata ed è essenziale per fornire un feedback efficace. Il lavoro futuro dovrebbe cercare di estendere questa raccolta di dati all'archiviazione dei dati. Per garantire l'adozione di queste tecnologie da parte degli utenti finali, è fondamentale che i dati siano archiviati e presentati in modo da essere facilmente comprensibili, in modo da poter fornire un feedback costruttivo e mirato. Il sistema corrente prende i dati da ciascuno dei componenti in un formato non elaborato che viene quindi manipolato per derivare i risultati, tuttavia, questo non è un formato desiderato per l'utente finale, come evidente nei requisiti degli stakeholder. Ciò definisce la necessità di sviluppare un'interfaccia HMI (Human Machine Interface) flessibile e scalabile progettata specificamente intorno alle esigenze

dell'utente finale. Si dovrebbe intraprendere un ulteriore sviluppo delle tecnologie dei componenti per ottimizzare le soluzioni da utilizzare nella formazione quotidiana.

È necessario adottare misure iterative per avanzare e ottimizzare la progettazione del nodo wireless. In primo luogo, il nodo attuale dovrebbe essere ridisegnato per ridurne al minimo le dimensioni complessive. Questo nodo deve quindi essere confezionato in modo appropriato in modo che il nuotatore possa indossarlo comodamente, riconfigurato se necessario e assicurarsi che sia sufficientemente alimentato, utilizzando batterie ricaricabili o sostituibili.

Le iterazioni future del lavoro derivante da questa tesi dovrebbero continuare ad affrontare le tecnologie e i requisiti di elaborazione con un approccio scalabile ed espandibile. È essenziale che, man mano che la comprensione viene migliorare, il sistema sia in grado di adattarsi in modo appropriato in modo tale che i dati siano acquisiti, elaborati e presentati nel modo che aggiunge più valore all'utente finale. Lo sviluppo continuo del sistema dovrebbe cercare di soddisfare i restanti requisiti di misurazione delle parti interessate, pur continuando a soddisfare i requisiti del processo.

Bibliografia

- Alberty M et al. (2005) 'Stroking Parameters in Exhaustion in Swimming'. International Journal of Sports Medicine.
- Amat, J., Casals, A., Frigola, M., (1999) ' Stereoscopic System for Human Body Tracking in Natural Sciences'. International Workshop on Modelling People, Corfu, Greece.
- Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A., Pyne, D., (2006) ' Monitoring Seasonal and Long-Term Changes in Test Performance in Elite Swimmers'.
- Bobick, A., Davis, J., (2001) ' The Recognition of Human Movement using Temporal Templates'.
- Callaway, A., Cobb, J., Jones, I., (2009) ' A Comparison of Video and Accelerometer Based Approaches Applied to Performance Monitoring in Swimming'.
- Cho, K., Jang, J., Hong, K., (2001) ' Adaptive Skin Colour Filter'.
- Chollet, D., Seifert, L., Boulesteix, L., Carter, M., (2006) ' Arm to Leg Coordination in Elite Butterfly Swimmers'.
- Coifman, B., Beymer, D., McLauchlan, P., Malik, J., (1998) ' A Real-time Computer Vision System for Vehicle Tracking and Traffic Surveillance'.
- Cossor, J., Blanksby, B., Elliot, B.C., (1999) 'The Influence of Plyometric Training on the Freestyle Tumble Turn'.
- Cronin, J., Jones, J., Frost, D., (2007) 'The Relationship Between Dry-Land Power Measures and Tumble Turn Velocity in Elite Swimmers'.
- Davey, N., Anderson, M., James, D., (2008) 'Validation Trial of an Accelerometer Based Sensor Platform for Swimming'.
- Figuro, P., Leite, N., Barros, M., (2003) ' A Flexible Software for Tracking of Markers used in Human Motion Analysis'.
- Fong, D., Wong, J., Lam, A., Lam, R., Li, W., (2004) ' A Wireless Motion Sensing System using ADXL MEMS Accelerometer for Sports Science Applications'.
- Holger, K (2005), 'Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks'.
- James, D., Davey, N., Rice, T., (2004) ' An Accelerometer Based Sensor Platform for Insitu Elite Athlete Performance Analysis'.
- Kerrison, T, Cossor, J, Renshaw, K. (2007) Stakeholder requirements.

Luinge, H., Veltink, P., (2005) ' Measuring Orientation of Human Body Segments using Miniature Gyroscopes and Accelerometers'.

Lyttle, A.D. (1998) 'The effect of depth and velocity on drag during the streamlined glide'.

Nakazawa, A., Kato, H., Inokuchi, S., (1998) ' Human Tracking using Distributed Vision Systems'.

Ruschel, C., Araujo, L., Pereira, S., Roesler, H., (2007) ' Kinematical Analysis of the Swimming start: Block, Flight and Underwater Phases'.

Ringraziamenti

In dirittura d'arrivo, vorrei ringraziare tutte le persone che mi hanno sostenuta e aiutata durante il mio percorso universitario.

In primis desidero ringraziare il Prof. Andrea Monteriù, non solo per la fiducia accordatami accettando di seguirmi nel percorso di tirocinio e accettando il ruolo di Relatore ma anche per la pazienza dimostrata nei miei confronti e per avermi lasciata sempre libera di fare le mie scelte.

Un dovuto ringraziamento va sicuramente a mia Mamma, senza la quale non avrei neppur cominciato questo percorso. A Lei, che pur essendo una Donna sola, è riuscita, con i dovuti sacrifici sia fisici che economici, a farmi raggiungere questo traguardo. La sua forza e tenacia sono sicuramente state d'ispirazione per me.

Ringrazio anche mio Papà, che sono sicura sarà fiero del traguardo che ho raggiunto. Nonostante non sia con me, so di certo che lungo questo cammino, iniziato tre anni fa, sia stato al mio fianco ogni singolo istante e che sia stato il mio angelo custode in più occasioni.

Altra persona che devo ringraziare è senza ombra di dubbio mia sorella, che è stata il mio braccio destro in questi anni. In molte occasioni, senza il suo aiuto non ce l'avrei sicuramente fatta. La ringrazio per le volte in cui mi ha strappato un sorriso e per la forza e il coraggio che è riuscita ad infondermi dandomi così quella marcia in più per poter continuare il mio percorso.

Un altro ringraziamento speciale va ai miei zii, Timo e Maria Teresa, i quali hanno sempre creduto in me anche quando le cose non andavano per il verso giusto. Loro che mi hanno seguita dal giorno zero, a partire dall'iscrizione all'università, agli esami e ai consigli per la tesi. Devo sicuramente condividere questo mio traguardo con loro perché in fondo lo hanno vissuto passo, passo con me.

Ringrazio il mio fidanzato Jerry, per avermi sempre sostenuta in questi anni. Per aver cercato di sdrammatizzare ogni volta in cui diventavo pessimista. Lo ringrazio per la comprensione mostrata nei miei confronti, per la immensa fiducia che ha avuto in me, anche più di quanta meritassi.

Devo sicuramente ringraziare mio zio Appuccia, che nonostante la lontananza, mi ha sempre dimostrato il suo interesse e il suo sostegno. So quanto ci tenesse e quanta gioia abbia provato quando gli ho comunicato questo traguardo.

Ringrazio poi, mia zia Ratha, la quale mi ha sempre sostenuta, come se fossi stata sua figlia. La ringrazio per i mille consigli dati, per le volte in cui mi ha difeso con tutti e per aver creduto in me.

Ringrazio i miei nonni, Nesarajah e Yogeswary, i quali mi hanno sempre spronata a raggiungere i miei obiettivi. Mia nonna che ogni volta la prima domanda è: “Quando finisci gli studi? Così mi vieni a trovare”. Spero siano fieri di me.

Altro ringraziamento va a nonna Margherita, che ogni volta in cui andavo a Fermo aspettava con ansia il mio ritorno a casa. La quale, negli ultimi periodi, quando dovevo sostenere un esame, esigeva silenzio da tutti in modo da non crearmi disturbi. La ringrazio perché è stata la mia valvola di sfogo in questo percorso e ha sempre cercato di calmarmi quando ero sommersa dall’ansia.

Ringrazio anche i nonni, Vincenzo e Lorenzina, i quali ogni volta mi auguravano tutto il bene del mondo e di finire presto gli studi.

Ringrazio Simona, per tutte le volte in cui mi ha sostenuta, per tutte quelle volte in cui si è sorbita le mie paranoie e i miei lunghi discorsi. Per tutte le volte in cui mi ha aiutata andando contro le “regole” dell’ERSU. Mi dispiace moltissimo non aver potuto trascorrere questo ultimo anno con lei ma sono sicura che ci rifaremo alla Magistrale.

Un ringraziamento di cuore va alla mia collega nonché amica, Viviana, con cui ho condiviso l’intero percorso universitario. La ringrazio per tutti gli appunti che mi ha passato ma tornando seri, la ringrazio per avermi supportata e sopportata, so che non è facile stare accanto ad una persona come me. In lei ho sicuramente scoperto una persona meravigliosa, altruista e divertente. Spero di poter continuare a coltivare la nostra amicizia e di intraprendere il percorso della Magistrale assieme.

Un altro ringraziamento speciale va senza ombra di dubbio ad Elena, una delle prime persone che ho conosciuto all’inizio di questo percorso. Non scorderò mai il nostro “posto fisso” in aula. Per mia sfortuna le nostre strade, in termini di studio, si sono separate dopo il primo anno ma la nostra

amicizia è tutt'oggi viva e spero rimanga tale a lungo. A lei devo molto, mi ha sostenuta e mi è stata vicina in un momento in cui nemmeno io volevo starvi vicina. La ringrazio per aver condiviso con me gran parte della sua vita e per avermi fatta ricredere nell' Amicizia.

Ringrazio anche Federica, che ho riscoperto nell'ultimo anno, grazie ai corsi comuni che abbiamo seguito. In lei ho riscoperto una persona genuina, sempre gentile e disponibile. Una delle poche persone che è riuscita a farmi passare l'ansia pre-esame; grazie alle nostre videochiamate e ai numerosi messaggi. Spero che le nostre strade non si separino, anzi che continuino come nell'ultimo periodo a prescindere dalle scelte che intraprenderemo.

Ringrazio Sara, compagna di numerose "avventure", per essere sempre stata gentile nei miei confronti, con la quale condivido numerose passioni. La ringrazio per aver cercato sempre di accontentare tutti anche mettendo da parte ciò che lei voleva.

Ringrazio inoltre Vittorio e Daniele i quali ho conosciuto grazie al corso di Marketing. Entrambi sono persone divertenti e gentili, sono sempre stati disponibili nei miei confronti e pronti a confortarmi nei momenti di ansia. Credo che nessuno di noi dimenticherà le serate a casa loro o gli scherzi che mi hanno fatto.

Ringrazio i miei "amici di Fiuminata": Ludovico, Mirko, Roberto e Stefano. Mi hanno sempre incoraggiata e si sono sempre sorbiti le mie numerose lamentele e le mie ansie. Sono grata di averli per amici e spero rimarrà così a lungo.

Ringrazio inoltre tutti i miei amici e tutte le persone che hanno contribuito nel conseguimento di questo traguardo, mi scuso se ho ommesso il nome di qualcuno.

Infine, non di certo per importanza, dedico questo traguardo a me stessa, ai miei sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di arrivare fin qui.