



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE**

**CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA BIOMEDICA**

**“L’Analisi del Movimento per il
miglioramento delle performance nel
canottaggio”**

Relatore: Professoressa Zimi Sawacha

Laureando/a: Lorenzo D’Ambrosi

ANNO ACCADEMICO 2021–2022

Data di laurea: 7 Marzo 2022

INDICE

INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1: IL CANOTTAGGIO	8
1.1 FONDAMENTI DI TECNICA DI VOGA	11
1.2 REMOERGOMETRO: ANALOGIE E DIFFERENZE CON LA BARCA	12
CAPITOLO 2:	15
L'ANALISI DI MOVIMENTO	15
2.1 Elettromiografia di superficie	15
2.2 Piattaforme di forza.....	18
2.3 Sensori inerziali.....	20
CAPITOLO 3: STUDIO	23
3.1 Applicazione dell' sEMG	24
3.1.1 Lo studio e i soggetti	24
3.1.2 Procedure	25
3.1.3 Rilevamento elettromiografico	26
3.1.4 Risultati	26
3.1.5 Conclusioni	30
3.2 Risultati da piattaforme di forza ..	31
3.2.1 Organizzazione sistema di misura.....	32
3.2.2. Procedure e risultati	34
3.2.3 Conclusioni	41
3.3 Risultati dai sensori inerziali.....	42

3.3.1 Primo studio.....	43
3.3.2 Secondo studio.....	50
3.3.3 Terzo studio	55
3.3.4 Conclusioni.....	58
CAPITOLO 4: CONCLUSIONI.....	59
BIBLIOGRAFIA	61
INDICE DELLE IMMAGINI	63

INTRODUZIONE

Questo studio si prefigge di esaminare come l'Analisi del Movimento possa essere applicata per migliorare le performance nello sport del canottaggio.

Il canottaggio è uno sport che si basa su una prestazione fisica, tuttavia, essendo basato su un movimento ciclico come nella corsa e nel ciclismo, la tecnica della singola vogata è importantissima per poter esprimere al meglio la spinta e quindi garantire la massima velocità alla barca.

Ho scelto questo sport come oggetto di studio spinto da passione personale praticandolo da diversi anni a livello agonistico.

Poiché non tutti gli strumenti usati per l'Analisi di Movimento sono logisticamente applicabili in barca, ho preso la decisione di trattare due aspetti: il canottaggio in barca e il canottaggio al remoergometro (detto anche vogatore), strumento che permette di riprodurre fedelmente la vogata e di allenarsi in palestra a terra.

La tesi è divisa in 4 capitoli. Nel primo capitolo viene fatta una breve introduzione sul canottaggio per poi

approfondire due aspetti: la tecnica di voga e le differenze in allenamento tra remoergometro e barca. Nel secondo capitolo viene brevemente introdotta l'Analisi del Movimento e vengono presentate le tecniche per cui può essere applicata al canottaggio. Il terzo capitolo è suddiviso in 3 parti, in ognuna delle quali viene applicata una singola tecnica; nel capitolo si analizza il setup organizzato per lo studio, i soggetti, i dati raccolti e le considerazioni finali. Nel quarto capitolo infine sono illustrate le conclusioni.

CAPITOLO 1: IL CANOTTAGGIO

“Il canottaggio è uno sport in cui l’atleta usa come mezzo specifico una imbarcazione mossa mediante remi e con il solo ausilio della forza muscolare” [1].



I campioni olimpici M. e V. Sinkovic [9]

Gli atleti vogano seduti su un sedile scorrevole, detto carrello, rivolti verso la poppa della barca.

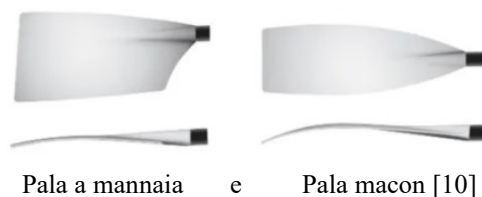
Le imbarcazioni sono realizzate in materiali diversi: legno o vetroresina per gli scafi più stabili e pesanti, usati principalmente per il canottaggio amatoriale e per l’insegnamento di questo sport; fibra di carbonio per le barche di tipo “olimpico”, di forma estremamente affusolata, molto leggere e instabili, usate dagli atleti agonisti per le competizioni.

Le barche si distinguono per varie caratteristiche: numero dei vogatori, numero di remi per ogni vogatore (“di coppia” se ogni atleta usa due remi, “di punta” se ogni atleta usa un solo remo) e infine per l’eventuale presenza del timoniere.

IMBARCAZIONI DA REGATA			
Di punta		Di coppia	
2-	2 senza timoniere	1x	Singolo
2+	2 con timoniere	2x	due di coppia
4-	4 senza timoniere	4x	quattro di coppia
4+	4 con timoniere		
8+	8 con timoniere		

Tabella 1 Sintesi delle specialità di tipo olimpico [1]

I remi invece possono essere in legno, in fibra di vetro e in fibra di carbonio, quest'ultimi più moderni e performanti per la loro leggerezza e rigidità. Si differenziano in due tipi a seconda della forma della pala: remi “macon”, usati nelle categorie giovanili fino ai 13 anni, e remi “a mannaia”, più performanti e usati in tutte le categorie superiori e a livello internazionale.



I remi si differenziano ulteriormente per il tipo di vogata: quella di coppia prevede remi di lunghezza variabile tra 365 e 380 cm, mentre nella vogata di coppia i remi sono lunghi tra 280 e 290 cm.

Passando alla competizione vera e propria, possiamo dire che le regate sono principalmente di 2000 metri, eccetto per le categorie giovanili che prevedono distanze di 1000 o 1500 metri. Esistono anche delle regate dette di ‘gran fondo’ che possono essere dai 5000/6000 metri fino a 10000 m.

La distanza dei 2000 m, detta anche ‘di tipo olimpico’ è particolare in quanto è sufficientemente breve (tra i 5min e 30s e gli 8 min) da sembrare una gara di velocità, ma abbastanza lunga da richiedere agli atleti una notevole resistenza. Essendo inoltre le barche molto instabili la bravura del canottiere sta nel mantenere l’equilibrio e allo stesso momento riuscire a esprimere il massimo della forza.

La federazione internazionale che governa il canottaggio è la FISA (*Fédération Internationale des Sociétés d’Aviron*) che organizza Campionati Europei, Campionati del Mondo e le varie edizioni della Coppa del Mondo, mentre in Italia gli atleti sono affiliati alla FIC (*Federazione Italiana Canottaggio*).

1.1 FONDAMENTI DI TECNICA DI VOGA

La tecnica di voga nel Canottaggio prevede un movimento ciclico suddiviso in due fasi principali: passata, che è la fase attiva di spinta, e ripresa, la fase di recupero che riporta all'inizio del ciclo.

La passata inizia con la posizione di “attacco”: il vogatore è con la schiena protesa in avanti, le gambe totalmente piegate e le braccia distese; la pala è in posizione verticale in acqua. Successivamente avviene la “spinta”: il vogatore stende le gambe mantenendo il busto fermo e le braccia distese, in successione muove il busto e infine piega le braccia arrivando nella posizione di “finale”. Qui il canottiere ha le braccia piegate e le mani quasi all'altezza del petto, i remi ancora in pressione in acqua, il busto inclinato verso prua di circa 30° e le gambe distese. Ricordiamo che nella fase di passata il remo è sempre in acqua e spinge la barca.



Un ciclo di vogata [2]: attacco (1 e 2), passata (3 e 4) e ripresa (5 e 6)

La fase di ripresa comincia in finale: il vogatore estrae i remi dall'acqua abbassando i pugni, poi ruota i polsi in

modo che la pala stia parallela all'acqua. Successivamente distende le braccia, piega il busto in avanti e piega le gambe (3 movimenti in ordine inverso rispetto alla passata) andando avanti con il carrello. Arrivato con le mani all'altezza delle caviglie ruota nuovamente i polsi portando le pale perpendicolari all'acqua, in modo da approntare l'attacco per effettuare la "presa in acqua"; da qui il ciclo riprende da capo.

1.2 REMOERGOMETRO: ANALOGIE E DIFFERENZE CON LA BARCA

Il remoergometro, detto anche vogatore, è un attrezzo meccanico che simula in modo fedele il movimento del canottaggio. È costituito nella parte anteriore da un meccanismo di resistenza, in genere ad aria, collegato ad una catena con un manubrio alla estremità, e da una rotaia su cui scorre il carrello nella parte posteriore.

La principale differenza con la barca è la stabilità in quanto il remoergometro appoggia a terra, mentre la barca appoggia su un fluido (l'acqua).

Nello studio *Effect of Rowing Ergometer Compliance on Biomechanical and Physiological Indicators during*

Simulated 2,000-metre Race [3], è stato dimostrato come questa differenza sia rilevante dal punto di vista del dispendio di energie e della fatica.

Lo studio prevede un confronto delle caratteristiche biomeccaniche e delle risposte fisiologiche durante la vogata su 3 dispositivi: A) un remoergometro stabile (STE), cioè normalmente appoggiato a terra, B) un remoergometro trasversalmente conforme (TCE), C) un remoergometro frontalmente conforme (FCE).

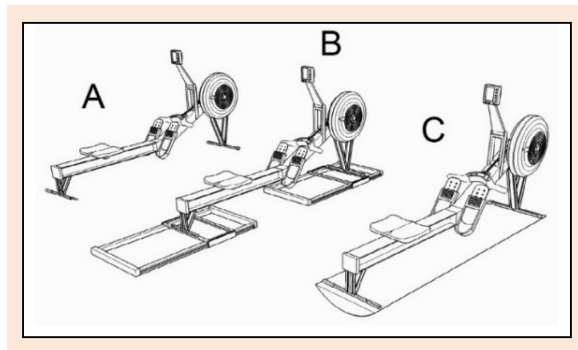


Figura 2. La conformità dell'ergometro è stata ottenuta posizionando uno STE (A) su scivoli che permettevano la conformità trasversale (B) e su largo sostegno oscillante che induceva la conformità frontale (C) [3].

Il TCE ha suscitato diverse biomeccaniche di vogata rispetto a un STE, mentre c'è poca differenza tra l'FCE e l'STE. A livello fisiologico e di prestazioni, tuttavia, i risultati indicano che il tempo più alto in gara è stato

osservato sull'FCE, accompagnato dal più alto sforzo fisiologico (frequenza cardiaca media più alta). Questo risultato è spiegato dall'instabilità laterale dell'FCE, analoga a quella della barca, i vogatori usando più muscoli per l'equilibrio si sono stancati più facilmente.

La differenza principale tra barca e remoergometro, quindi, è che la barca ha una maggiore richiesta metabolica in quanto instabile rispetto al remoergometro; questo tuttavia rimane un ottimo strumento di allenamento in inverno e quando le condizioni meteo non permettono una uscita in barca.

CAPITOLO 2: L'ANALISI DI MOVIMENTO

In questo capitolo verrà trattata l'analisi di movimento e spiegato in che modo e tramite quali tecnologie può essere applicata al complesso movimento del canottaggio.

L'analisi di movimento è la disciplina che studia e analizza il movimento umano. L'obiettivo principale è ottenere informazioni sul movimento di parti o dell'intero corpo umano, sui movimenti articolari, sulle forze che agiscono su muscoli, ossa e tendini, sul lavoro e le contrazioni dei muscoli.

Per il canottaggio, in particolare, gli strumenti di maggiore interesse sono la elettromiografia di superficie, le piattaforme di forza e i sensori inerziali.

2.1 ELETTROMIOGRAFIA DI SUPERFICIE

L'elettromiografia di superficie (sEMG) è l'analisi dei segnali elettrici generati durante le contrazioni muscolari. Può essere usata per diagnosticare malattie muscolari, in ambito sportivo per visualizzare quali muscoli sono soggetti a contrazione e quali si sono affaticati, e infine per visualizzare il timing, ovvero il momento e la durata della contrazione muscolare.

Il segnale elettrico che parte dal sistema nervoso centrale viene trasmesso tramite i motoneuroni, ognuno di essi innerva un gruppo di fibre muscolari. Ogni gruppo assieme al proprio motoneurone viene chiamato unità motoria. La somma dei contributi dei segnali elettrici delle varie fibre muscolari della unità motoria è detta MUAP (*Motor Unit Action Potential*); l'attivazione ripetuta genera il MUAPT, ovvero un treno di MUAP; il segnale elettromiografico è dato dalla sovrapposizione di questi ultimi.

La sEMG viene effettuata per mezzo di elettrodi adesivi che vengono applicati in punti specifici dei muscoli che si vogliono analizzare. Il principale elettrodo utilizzato, usa e getta e poco costoso, è Ag-AgCl: è costituito da un disco di schiuma di materiale plastico, spesso ricoperto nella parte a contatto con la pelle da una pasta elettrolitica, e nella parte superiore è attaccato un disco argentato con un gancio per il bottone automatico al quale viene attaccato il filo.



Elettrodi usa e getta [11]

Esistono varie configurazioni per prelevare il segnale elettromiografico:

- configurazione monopolare: vengono posizionati due elettrodi, uno sul muscolo da studiare e l'altro in una qualsiasi zona non muscolare
- configurazione bipolare: vengono posizionati due elettrodi sul muscolo di interesse e viene registrato il potenziale tra essi
- configurazioni differenziali: vengono posizionati tre o più elettrodi equispaziati e si hanno più canali differenziali.

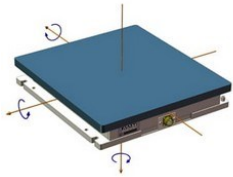
L'elettromiografia di superficie ha quindi il vantaggio, a differenza della elettromiografia ad ago, di essere minimamente invasiva e quindi di essere facilmente applicata.

Le variabili che si estraggono sono lo spettro di potenza, la frequenza media potenza (MPF), cioè la frequenza dello spettro di potenza del segnale e la frequenza mediana (MDF) che divide lo spettro in due parti di uguale potenza.

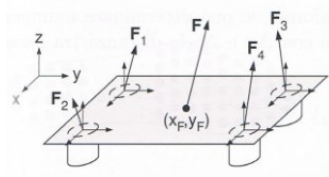
La frequenza media in particolare sarà molto utile in quanto un suo calo indica l'affaticamento muscolare.

2.2 PIATTAFORME DI FORZA

Le piattaforme di forza sono dispositivi formati da un piatto strumentato, che può essere di varie forme, il cui scopo è misurare la forza scambiata tra il suolo e la parte del corpo che appoggia, generalmente il piede.



Una piattaforma di forza [12]



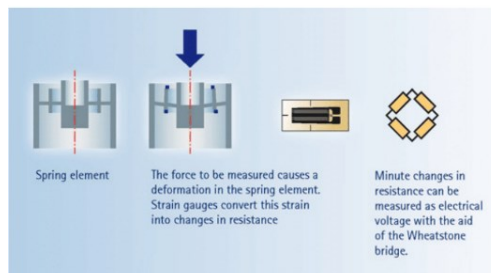
Sistema a 12 canali [4]

Sono composte da 4 sensori di forza (detti anche celle di carico) triassiali, che formano un sistema a 12 canali. L'intensità della forza esterna si ottiene sommando le forze misurate dalle singole celle.

I sensori di forza possono essere di 2 tipi: piezoelettrici o estensimetrici. I sensori di forza piezoelettrici si basano sulla capacità di un materiale, chiamato piezoelettrico, di generare sotto l'effetto di sollecitazioni meccaniche una carica elettrica. Con un amplificatore di carica poi la si può convertire in un segnale tra i 0 e 10V facile da misurare. Essendo la carica, e quindi di conseguenza la tensione

misurata, proporzionale alla sollecitazione meccanica, questo sensore permette la stima della forza.

I sensori di forza estensimetrici invece sono costituiti da un elemento elastico, che converte le forze da misurare in una deformazione nel modo più lineare possibile, e da 4 estensimetri, che consistono in uno strato isolante detto supporto e in una griglia di misura inglobata in esso. I 4 estensimetri sono installati in modo che due siano allungati e due siano compressi dalla forza applicata, e sono collegati tra loro da un circuito a 4 resistenze chiamato ‘Ponte di Wheatstone’, alimentato da una tensione di alimentazione. La tensione in uscita varia al variare della resistenza degli estensimetri quando vengono sottoposti a deformazione.



Funzionamento di un sensore estensimetrico [4]

Le variabili che si estraggono sono le 3 componenti x,y,z delle forze e le coppie ad esse associate, il Centro di

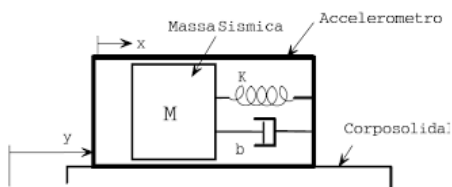
Pressione (COP), cioè il punto di applicazione della forza, e infine modulo, direzione e verso della forza.

2.3 SENSORI INERZIALI

I sensori inerziali sono strumenti usati per trasformare la forza inerziale in segnali elettrici per misurare l'accelerazione, l'inclinazione e la vibrazione di un oggetto. Ne esistono principalmente tre tipi: accelerometri, giroscopi e magnetometri.

Gli accelerometri permettono di misurare l'accelerazione lineare sfruttando la forza inerziale. Sono costituiti da:

- una massa sismica, che serve per generare la forza inerziale tramite una accelerazione
- una molla elastica, per supportare meccanicamente la massa e riportarla in posizione neutra
- un ammortizzatore, che controlli il moto della massa
- un trasduttore, che converti lo spostamento in un segnale elettrico in modo da essere elaborato.



Composizione di un accelerometro [13]

I giroscopi, invece, permettono di misurare l'accelerazione angolare, ovvero la rotazione. Esistono di due tipi: i MEMS, che per calcolare la rotazione sfruttano la forza apparente di Coriolis, nota come la forza a cui risulta soggetto un corpo quando si osserva il suo moto da un sistema di riferimento che sia in moto circolare rispetto al sistema di riferimento inerziale; il secondo tipo invece contiene una massa rotante dentro un supporto rotante ancorato a un contenitore. Se la massa rotante ruota attorno all'asse x e il giroscopio attorno all'asse y, si genera un momento angolare intorno all'asse z misurabile da un sensore di momento o di forza.



Un giroscopio [14]

Esistono infine i magnetometri, di minore importanza, che permettono di misurare il campo magnetico in una determinata zona dello spazio.

Di notevole interesse pratico, anche al fine del nostro studio, risultano essere gli IMU (*Inertial Measurement Units*), strumenti costituiti da 3 accelerometri montati ortogonalmente tra loro in modo da misurare 3 accelerazioni (x,y,z) in modo indipendente, e da 3 giroscopi anch'essi montati ortogonalmente tra loro così da misurare l'accelerazione angolare attorno a ogni asse di accelerazione. Oltre a questi 6 sensori inerziali un IMU è costituito da un hardware per l'elaborazione dei segnali, una batteria, un contenitore e talvolta anche da un magnetometro.

CAPITOLO 3: STUDIO

In questo capitolo saranno applicati l'elettromiografia di superficie, i sensori di forza e i sensori inerziali per il miglioramento delle prestazioni in gara.

L'obiettivo in una gara di canottaggio è quello di far mantenere la velocità media più alta alla barca dalla partenza all'arrivo. A tale scopo le caratteristiche fondamentali che deve avere un atleta sono forza, sia fisica che mentale, e tecnica. Quest'ultima in particolare è fondamentale poiché è costituita da un movimento ciclico, quindi in una regata di 2000m, in cui vengono eseguite circa 260 palate, un eventuale difetto che comporti una perdita solo di qualche decimo di secondo poi si ripercuote nel tempo totale nell'ordine dei secondi (quindi svariati metri), facendo spesso la differenza tra la vittoria e la sconfitta. Cambiamenti anche piccoli della tecnica permettono di influenzare in modo significativo l'esito della gara.

Vedremo quindi come migliorare gli aspetti chiave come efficienza e forza del colpo, ritmo e stabilità della barca tramite l'applicazione dell'Analisi di Movimento.

3.1 APPLICAZIONE DELL' sEMG

In questo paragrafo analizzeremo come può essere applicata l'elettromiografia di superficie per migliorare la performance nel canottaggio. L'analisi, per questioni pratiche, può essere effettuata solo in palestra al remoergometro dove, come abbiamo visto, il movimento biomeccanico viene simulato molto fedelmente.

Si occupa di questo lo studio *Application of Surface Electromyography in assessing muscle recruitment patterns in a six-minute continuous rowing effort* [5].

3.1.1 Lo studio e i soggetti

Lo studio è stato effettuato a Honk Kong nel 2007 su un gruppo di 16 canottieri maschi con vari livelli di allenamento. I soggetti sono stati suddivisi in gruppi in base alla loro esperienza agonistica e alle loro prestazioni nel test al remoergometro (provinciale, giovanile e olimpico) come si può vedere nella tabella 1, in cui vengono illustrati anche: numero di atleti per ogni gruppo, età, altezza e peso, e infine anni di allenamento.

Group	N	Age (y)	Height (cm)	Weight (kg)	Years of training
Provincial	5	15.6 ± 0.9	180.0 ± 2.3	68.0 ± 5.0	4
Youth	9	15.0 ± 0	170.8 ± 3.8	58.1 ± 2.7	0.75-1
Olympic	2	25.5 ± 0.7	174.5 ± 3.5	69.5 ± 0.7	8

Tabella 1. Caratteristiche dei partecipanti [5]

I gruppi provinciale e giovanile, per differenziare ulteriormente i vogatori con più esperienza da quelli con meno esperienza, sono stati sotto categorizzati in *Fast-Provincial* e *Slow-Provincial*, e in *Fast-Youth* e *Slow-Youth*.

3.1.2 Procedure

Gli atleti sono stati sottoposti al test di 6 min di vogata massimale su un remoergometro modello Concept 2, mantenendo un numero di colpi tale da simulare una gara reale in acqua.

Poiché la vogata al remoergometro è perfettamente simmetrica era sufficiente raccogliere i segnali dell'elettromiogramma di superficie solo dal lato destro del corpo. I sensori utilizzati, di tipo Ag-AgCl, dopo una preparazione accurata della pelle (per ridurre l'impedenza) basata sullo sfregamento con una pasta abrasiva (successivamente pulita con alcol ed etere), sono stati applicati a circa 4 cm di distanza (2 per ogni muscolo) su bicipite brachiale (braccio), brachioradiali (avanbraccio), deltoide (spalla), retto addominale, erettori spinali (schiena), quadricipite e bicipiti femorali (coscia) e gastrocnemio mediale (polpaccio).

3.1.3 Rilevamento elettromiografico

Le catture elettromiografiche sono state effettuate solamente nella fase di spinta, indicata dall'inizio dell'attivazione del quadricipite. Per ridurre l'ingombro ai partecipanti e rendere la vogata il più naturale possibile è stata utilizzata la trasmissione senza fili.

Il segnale è stato filtrato con un filtro di Butterworth del quinto ordine, la banda passante è stata impostata tra 10 e 300 Hz, al fine di ridurre il rumore di frequenza degli angoli delle articolazioni. Questi dati EMG grezzi sono stati poi elaborati usando il programma MATLAB, calcolando tramite trasformata di Fourier la MPF, di nostro interesse poiché un suo calo indica l'affaticamento muscolare, mentre un suo aumento indica la rienergizzazione del muscolo durante lo sforzo.

3.1.4 Risultati

Il primo fatto da tenere in considerazione è che, sia per l'esperienza che per il grado di allenamento, solo i gruppi olimpico e *Fast-Provincial* sono riusciti a tenere un passo e un ritmo di voga costante durante lo sforzo di 6 min, mentre i gruppi *Slow-Provincial* e il gruppo *Youth* sono partiti con un ritmo elevato per poi rallentare nel corso

della prova. Come era sensato aspettarsi inoltre il gruppo olimpico ha prodotto i passi più veloci mentre quello *Slow-Youth* quelli più lenti.

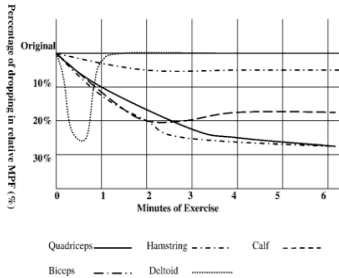


Figura 5. I modelli di cambiamento della frequenza di potenza media relativa al muscolo valutato, *Fast Youth*. [5]

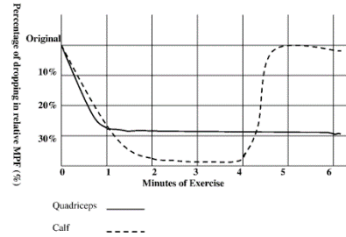


Figura 6. I modelli di cambiamento della frequenza di potenza media relativa al muscolo valutato, *Slow Youth*. [5]

Come si vede nella figura 6 il modello di reclutamento muscolare per il gruppo *Slow-Youth* è semplice, infatti solo per il polpaccio e il quadricipite sono visibili cali significativi di MPF, con i quadricipiti che sono stati sollecitati tutti e i 6 min, mentre i polpacci sono stati sollecitati solo nella prima metà con una rienergizzazione nella seconda metà, probabilmente dovuta al calo della potenza durante lo svolgimento della prova.

Per il gruppo *Fast-Youth*, invece, le cui MPF sono rappresentate nella figura 5, si può notare che tutto il lavoro è dipeso principalmente dagli arti superiori e dai

quadricipiti, inoltre è evidente l'assenza dello spostamento di lavoro tra i muscoli.

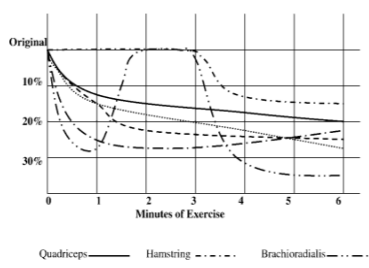


Figura 3. I modelli di cambiamento della frequenza di potenza media relativa al muscolo valutato, *Fast Provincial*. [5]

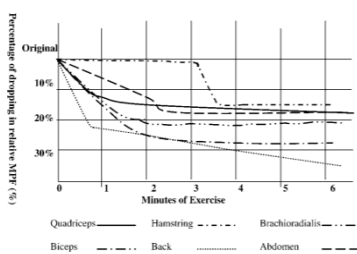


FIGURE 4. The relative mean power frequency changing patterns of the assessed muscle: Provincial group, slow.

Figura 4. I modelli di cambiamento della frequenza di potenza media relativa al muscolo valutato, *Slow Provincial*. [5]

Il gruppo *Fast-Provincial* (figura 3) ha dimostrato un affaticamento alla quasi totalità dei muscoli nel primo minuto, successivamente il brachioradiale è riuscito a recuperare grazie alla condivisione del lavoro di quadricipiti e schiena. Ciò avviene dopo il primo minuto perché i membri di questo gruppo, dotati di maggior esperienza, hanno applicato una la strategia che prevede 250m (circa 50s) di partenza e poi un calo di ritmo sul passo di gara. Il brachioradiale infine, al quarto minuto circa, ha ricominciato a lavorare, come si nota dal calo repentino di frequenza nel grafico.

I tracciati di MPF del gruppo *Slow-Provincial* (figura 4) sono simili a quelli del gruppo *Fast*, con alcune differenze: la schiena si è affaticata maggiormente, inoltre è assente la condivisione del lavoro da parte dei muscoli brachioradiali.

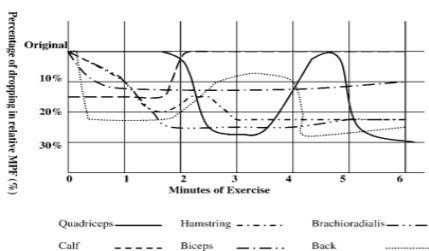


Figura 2. I modelli di cambiamento della frequenza di potenza media relativa al muscolo valutato, gruppo olimpico. [5]

Il gruppo olimpico dimostra la migliore efficienza muscolare. Entro i primi 30s dell'esercizio i muscoli del braccio (brachioradiali e bicipiti) e della schiena si sono attivati in modo significativo comportando un affaticamento repentino della schiena. Quando le frequenze di questi gruppi muscolari sono scese al minimo è subentrato il quadricipite, affaticandosi rapidamente nell'intervallo tra 1 min e 30 s e 2 min e 30s. Durante questo intervallo è diventato il maggior responsabile della

spinta, permettendo ai muscoli della schiena un breve recupero e riaumento della MPF. Dopo il calo al minimo della frequenza di contrazione del quadricipite, si è riattivata la schiena che ha sostenuto il ruolo primario della spinta fino al minuto 4, dove i quadricipiti dopo il breve riposo e la rienergizzazione subentrano nuovamente sostenendo lo sforzo insieme a tutti gli altri muscoli fino alla fine.

3.1.5 Conclusioni

Questo studio dimostra come la condivisione del carico di lavoro da parte dei muscoli sia più marcata negli atleti di alto livello con un allenamento superiore, mentre sia più carente negli atleti man mano che si scende con il grado di allenamento. Questa commutazione non è visibile a occhio nudo e spesso neppure l'atleta è consapevole: l'elettromiografia di superficie a tale scopo ci viene in aiuto.

La capacità di reclutare alternativamente i muscoli può contribuire sia a mantenere un ritmo più veloce, sia ad ottenere una spinta maggiore per tutta la durata della gara.

Dal punto di vista pratico un'applicazione di questa analisi potrebbe essere pianificare, da parte dell'allenatore, un

programma di allenamento specifico per ogni atleta che preveda esercizi mirati al fine di potenziare i gruppi muscolari che risultano più deboli dalla cattura elettromiografica, oppure per rimediare ad eventuali divari di resistenza tra i gruppi muscolari che causano una minore condivisione del lavoro.

3.2 RISULTATI DA PIATTAFORME DI FORZA

I sensori e le piattaforme di forza possono essere applicati al canottaggio per studiare le forze scambiate tra il canottiere e i punti di contatto con la barca: i remi, il carrello e la pedaliera, ovvero il punto dove si trovano le scarpette in cui risiedono i piedi, punto fondamentale tramite cui viene trasmessa la spinta ai remi.

Comprensibilmente, anche per le piattaforme e i sensori di forza l'analisi sarà affrontata al remoergometro, che analogamente alla barca possiede carrello, pedaliera e manubrio legati alla catena a sostituzione dei remi, punti di interesse per il calcolo delle forze.

Questa analisi è stata affrontata nello studio francese *Experimental Laboratory Apparatus to Analyze Kinematics and 3D Kinetics in Rowing* [6].

Quest'ultimo si prefigge di studiare la cinematica e la cinetica 3D dei vogatori, la prima tramite un sistema stereofotogrammetrico, la seconda tramite un sistema di piattaforme e sensori di forza. È stata presa la decisione di non affrontare la stereofotogrammetria in questa tesi, perciò l'analisi sarà basata solo sul secondo sistema finalizzato a misurare le forze e i momenti.

3.2.1 Organizzazione sistema di misura

Strumentazione puntapiedi

Due piattaforme di forza a 6 assi sono state fissate come in figura 2 a un remoergometro di modello Concept 2, al fine di misurare la forza di spinta dei piedi. Queste erano costituite da due briglie interconnesse da sei travi su cui erano incollati gli estensimetri. Una matrice 6x6 specifica per ogni piattaforma consentiva il calcolo delle forze e dei momenti ottenuti dai segnali degli estensimetri.

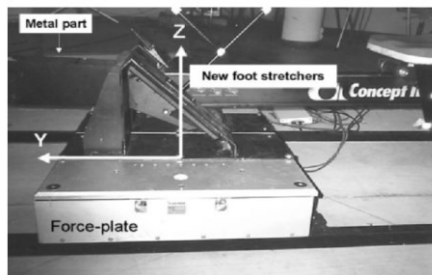


Figura 2. Nuova pedaliera strumentata [6]

Strumentazione carrello

Una terza piattaforma di forza a 6 assi è stata collocata sotto il carrello come in figura 3, al fine di misurare la forza scambiata tra il vogatore e il carrello.



Figura 3. Carrello strumentato [6]

Strumentazione della manopola

La manopola del remoergometro, infine, è stata sostituita da una nuova impugnatura (figura 4), costituita da una barra metallica (cava con all'interno due amplificatori) attaccata alla catena del remoergometro,

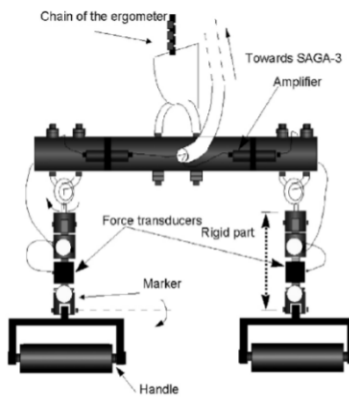


Figura 4. Manubrio strumentato [6]

alla quale erano collegati due sensori di forza monodimensionali, con due maniglie di acciaio fissate alle estremità.

3.2.2. Procedure e risultati

Un vogatore di livello regionale, che aveva familiarità con l'apparato sperimentale, dopo un riscaldamento di quattro min ha svolto una prova di 5 min a una media di 34 colpi al minuto.

Le forze e i momenti sono stati normalizzati al 100% di un ciclo di voga dove il tempo di spinta rappresenta il 48% del ciclo.

Forze delle mani

Le componenti F_x , F_y e F_z della forza prodotta dalla mano sinistra sono rappresentate nella figura 5 (la mano destra è rappresentata nella figura 6). Questi grafici visualizzano sull'asse delle x il ciclo di voga e sull'asse y le forze in Newton.

Durante la fase di passata, la componente F_y , che avviene lungo la direzione del tiro, ha un valore minimo di -441 N per la mano sinistra e -395 N per la mano destra (negative poiché avvengono con verso opposto rispetto al sistema di

riferimento visto nelle figure 2 e 3), quindi il vogatore tira più forte con il lato sinistro.

La componente F_z è positiva per entrambe le mani, quindi significa che il soggetto tende a tirare verso l'alto.

La componente F_x infine è positiva, 0 e poi negativa, tuttavia discostandosi di poco dallo 0. Questo fatto probabilmente si spiega con la natura della manopola sostitutiva, che non permette un tiro perfettamente orizzontale.

Durante la fase di ripresa invece le 3 componenti sono vicine allo 0, quindi non vengono esercitate forze, il remoergometro infatti in ripresa tira indietro la catena.

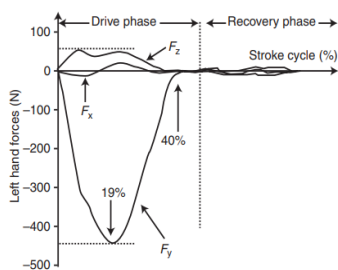


Figura 5. Le componenti F_x , F_y e F_z della forza F sviluppata dalla mano sinistra del vogatore lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

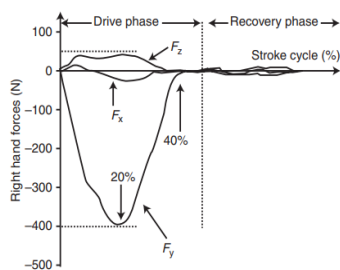


Figura 6. Le componenti F_x , F_y e F_z della forza F sviluppata dalla mano destra del vogatore lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

Forze dei piedi

Nelle figure 7 e 8 invece sono rappresentate le 3 componenti delle forze prodotte rispettivamente dai piedi destro e sinistro. Come ci aspettavamo la componente F_x è sempre vicina allo 0 per entrambi i piedi (i quali non spingono lateralmente), quindi la spinta avviene principalmente nel piano sagittale (yz).

Le componenti F_y e F_z hanno 4 zone: I ($F_y > 0, F_z < 0$), II ($F_y < 0, F_z > 0$), III ($F_y < 0, F_z < 0$) e IV ($F_y > 0, F_z < 0$). Queste sembrano corrispondere:

- I alla fase di passata dove il vogatore spinge con i piedi
- II alla fine della passata e inizio della ripresa dove tira le cinghie che fissano i piedi per andare avanti
- III alla fase di ripresa
- IV di nuovo alla fase di passata come in I

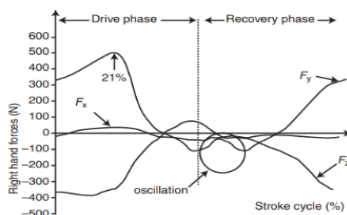
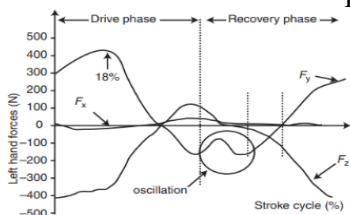


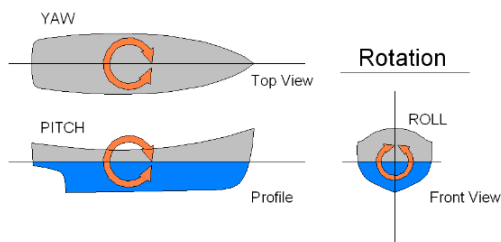
Figura 7. Le componenti F_x , F_y e F_z della forza F sviluppata dal piede sinistro del vogatore lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

Figura 8. Le componenti F_x , F_y e F_z della forza F sviluppata dal piede destro del vogatore lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

La componente negativa F_y presenta un'oscillazione all'inizio della ripresa, probabilmente causata dal ritorno degli arti superiori. Questa componente infine ha un valore massimo di 430 N sul lato sinistro e 504 N sul lato destro, ciò dimostra un'asimmetria, il lato destro era più forte.

Momenti dei piedi

Prima di analizzare i grafici dei momenti, saranno illustrati brevemente elementi utili alla nostra analisi. L'imbardata (*yaw*) è l'oscillazione della barca intorno all'asse verticale passante per il baricentro, e viene usata per stabilità per cambiare la rotta. Il beccheggio (*pitch*) è l'oscillazione di una imbarcazione intorno al proprio asse trasversale, causato ad esempio dal moto ondoso. Il rollio (*roll*) infine è l'oscillazione della barca attorno al proprio asse longitudinale.



Imbardata, beccheggio e rollio [15]

Passando ai momenti, nelle figure 9 e 10 sono mostrate le componenti M_x , M_y e M_z del momento M sviluppato rispettivamente dai piedi sinistro e destro.

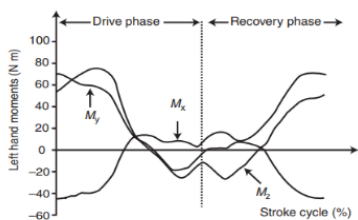


Figura 9. Le componenti M_x , M_y , M_z del momento M sviluppato dal piede sinistro del vogatore lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

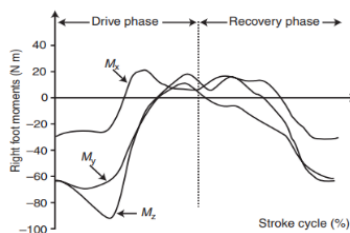


Figura 10. Le componenti M_x , M_y , M_z del momento M sviluppato dal piede destro del vogatore lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

- M_x mostra 3 zone: una zona negativa, poi una zona positiva e infine un'altra zona negativa. Su una barca, le variazioni della componente M_x spiegano il movimento di beccheggio, che comporta ulteriore attrito per la barca. Nel canottaggio infatti è fondamentale trasmettere in orizzontale la forza e non creare componenti verticali che causano beccheggio.
- M_y mostra 3 zone: una zona positiva, una negativa e infine un'altra positiva. In barca questa

componente spiega il movimento di rollio, che può causare una leggera perdita di equilibrio.

- M_z infine mostra anch'essa 3 zone: una zona negativa, una positiva e infine un'altra negativa. Una variazione di questa componente spiega il movimento di imbardata, che devia la rotta della barca.

Forza scambiata con il carrello

Nella figura 11 sono rappresentate le 3 componenti della forza F sviluppata dal vogatore sul carrello. Come ci si aspettava le componenti F_x e F_y sono pressoché nulle, infatti la forza scambiata tra vogatore e carrello è principalmente verticale.

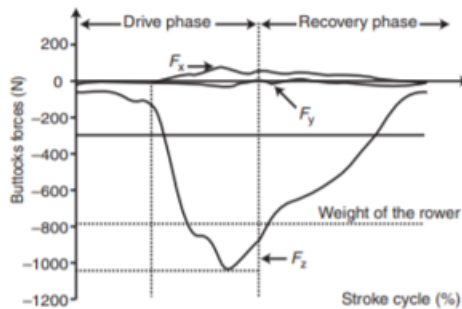


Figura 11. Le componenti F_x , F_y , F_z della forza F sviluppata dal vogatore sul carrello lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

La componente F_z nella prima parte della passata è debolmente negativa, poiché la massa del vogatore poggia principalmente sulla pedaliera. Durante la seconda metà della passata, F_z diminuisce rapidamente mentre la massa del vogatore si trasferisce sulla rotaia e sul carrello. Il valore minimo di F_z (-1040 N) è raggiunto poco prima della fine della passata. Successivamente F_z aumenta nel corso della ripresa, in cui il vogatore trasferisce il proprio peso alla pedaliera andando avanti con il carrello.

Momenti scambiati con il carrello

La figura 12 infine mostra le componenti del momento M sviluppato dal soggetto a livello del carrello. La componente M_z è vicina allo 0.

Poiché questo vogatore tira più con la mano sinistra e spinge più forte con il piede destro, ed essendo l'asimmetria involontaria, compensa con la posizione del busto, il che potrebbe spiegare il valore di M_z .

Il momento M è quindi espresso principalmente in M_x e M_y , che su una barca spiegherebbero i movimenti di beccheggio e rollio.

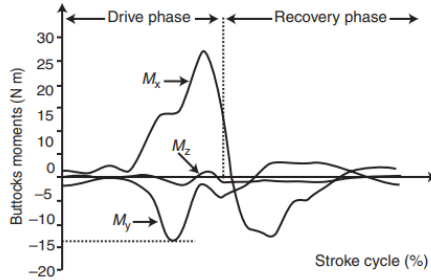


Figura 11. Le componenti M_x , M_y , M_z del momento M sviluppato dal vogatore sul carrello lungo, rispettivamente, l'asse medio-laterale, l'asse antero-posteriore e l'asse verticale del remoergometro. [6]

3.2.3 Conclusioni

In questo studio abbiamo visto come i sensori e le piattaforme di forza possano essere applicati al fine di migliorare l'efficienza della palata e la forza del colpo. Sono utili per individuare eventuali asimmetrie che causano sia una espressione meno efficace della forza, sia il rollio che influenza la vogata e l'equilibrio. Queste asimmetrie con allenamenti mirati possono essere corrette. L'analisi delle forze e dei momenti permette inoltre di individuare eventuali difetti nella tecnica che comportino forze svantaggiose (ad esempio quelle verticali).

3.3 RISULTATI DAI SENSORI INERZIALI

Il recente progresso tecnologico ha permesso che venissero realizzati piccoli sensori poco ingombranti e leggeri. Questi possono essere usati per monitorare sia la biomeccanica di un atleta sia l'attrezzatura con cui interagisce nel proprio sport.

I sensori inerziali permettono di studiare come ottimizzare la tecnica di voga e di monitorare le prestazioni analizzando ad esempio il variare dell'accelerazione della barca. Grazie alla loro caratteristica di essere piccoli e leggeri, consentono di effettuare studi in condizioni reali di allenamento in acqua, e di non interferire nella vogata lasciandola naturale.

Prima di procedere con lo studio, vediamo brevemente da quali parti è costituita una imbarcazione da canottaggio. Una barca è composta dallo scafo, in cui è incastonato lo spazio dedicato a uno o più vogatori (ed eventualmente anche lo spazio per un timoniere) e gli scalmi, che hanno il ruolo di fungere da piano di appoggio per il lavoro del remo sia in acqua che fuori. Nello spazio dedicato al canottiere ci sono le guide di scorrimento (generalmente realizzate in alluminio) per i carrelli su cui siedono i

vogatori, e infine il puntapiedi (o pedaliera), punto di appoggio dei piedi.



Un singolo [16]

In questo paragrafo saranno confrontati 3 possibili sistemi di sensori, presentati negli studi *An IMU-based Sensor Network to Continuously Monitor Rowing Technique on the Water* [2], *Monitoring and Evaluation of Rowing Performance using Mobile Mapping Data* [7] e *Self-Aligning and Drift-Compensated Rowing Seat Position Measurement System Based on Accelerometers and Magnetometers* [8].

3.3.1 Primo studio

Nel primo studio [2], svolto nel 2011 a Zurigo, in Svizzera, è stato deciso di adottare un sistema di misurazione

costituito da 3 IMU standard di marca Xsens Technologies, posizionati come in figura 5.



Fig. 5. Implementazione della rete di sensori: tre IMU sui remi e sulla barca, indicati dalle frecce rosse. [2]

Ogni IMU misura campo magnetico, accelerazione e velocità angolare in tutti e 3 gli assi. I sensori posizionati sui remi forniscono i dati di orientamento, mentre quello sulla barca fornisce i dati di accelerazione dell'imbarcazione e permette inoltre di calcolare un segnale differenziale per assicurare che l'orientamento della pala sia indipendente dal movimento assoluto della barca, come ad esempio un cambiamento di rotta oppure quello indotto dalle onde.

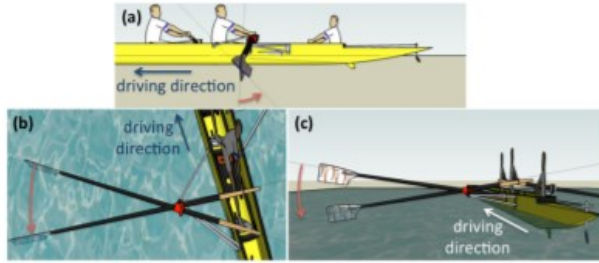


Fig. 3. Definizione dei 3 angoli di rotazione del remo: rotazione (a), orizzontale (b) e verticale (c). [2]

Precedentemente sono stati definiti gli angoli di orientamento della pala (figura 3) in modo tale da calcolare, grazie al sistema di sensori definito, la fase di presa in acqua e di finale (figura 4), che a loro volta ci permettono di dedurre molti parametri di notevole interesse.

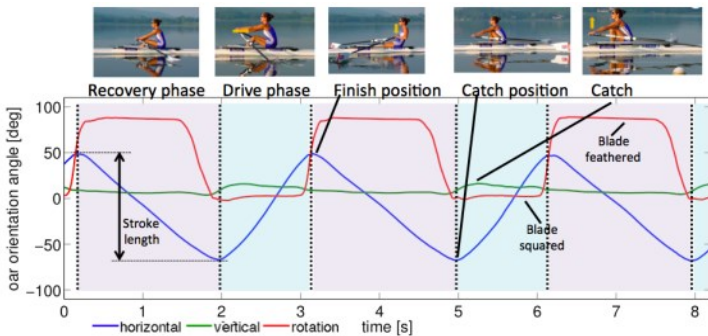


Fig. 4. Segnali tipici per i tre angoli di orientamento misurati su un remo con il nostro sistema. Sono mostrati 3 colpi alla frequenza dei colpi di 20 spm. [2]

Questi parametri, importanti indicatori della tecnica di voga, sono:

- Frequenza dei colpi: definita dal numero di colpi al minuto (spm, *strokes per minute*), calcolata contando la frequenza dei massimi dell'angolo orizzontale del remo.
- Lunghezza della palata: è la lunghezza effettiva del percorso in metri che percorre la pala nell'acqua. Dipende dalle impostazioni della barca ed è proporzionale all'angolo che la pala percorre sul piano orizzontale dalla posizione di attacco (riconosciuta dal minimo) a quella di finale (riconosciuta dal massimo).
- Rapporto passata/ripresa: è fondamentale per definire il ritmo nel canottaggio. Un buon ritmo è dato da un rapporto 2:1, cioè la ripresa dura circa il doppio del tempo della passata, in modo da garantire un buon scivolamento della barca.
- Rapporto tra pala in posizione verticale e orizzontale: usando il segnale di rotazione si può rilevare lo stato della pala in ogni punto del tempo.

La cattura dei dati ha coinvolto 18 vogatori in singolo, per ognuno dei quali è stata registrata una prova di allenamento di 1000 m a una frequenza tra i 18 e i 21 spm,

e una prova di regata di 1000 m a ritmo gara. Tutti i partecipanti hanno dichiarato di non essere ostacolati dal sistema di rilevamento e di riuscire a vogare in maniera naturale.

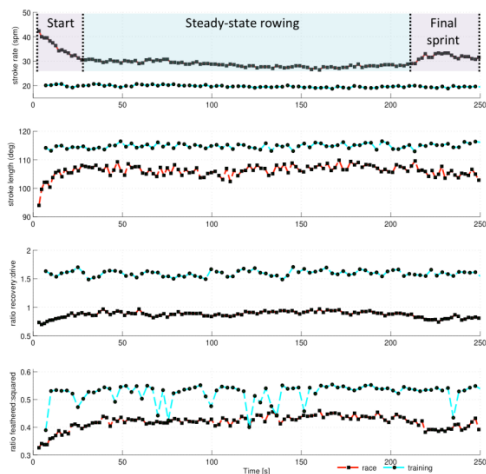


Fig. 6. Risultato di un monitoraggio continuo di frequenza dei colpi, lunghezza del colpo, rapporto passata/ripresa e rapporto tra pala parallela all'acqua e verticale sia per la sessione di allenamento che quella di gara. [2]

La figura 6 mostra per il vogatore R1 il monitoraggio della frequenza, della lunghezza della palata, del rapporto passata/ripresa e del rapporto tra pala parallela all'acqua e verticale. Analizzando la frequenza dei colpi, si può capire la strategia di gara: si inizia con una partenza con un elevato numero di colpi (>40 spm), poi la frequenza scende

e rimane costante (passo di gara, circa 30 spm), per poi aumentarla di nuovo nello sprint finale. Si nota che per tenere un numero di colpi elevato l'atleta accorcia il tempo di ripresa, determinando un minor rapporto passata/ripresa. Nella sessione di allenamento a pochi colpi, dove la ripresa era più lenta, il tempo invece si accorcia.

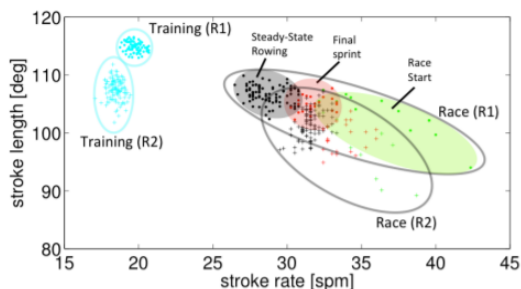


Fig. 7. Visualizzazione dei dati di frequenza e lunghezza del colpo di due vogatori (R1 e R2) di livello mondiale per le sessioni di allenamento e di gara. [2]

La figura 7 mostra la lunghezza della palata rispetto alla frequenza del colpo per 2 vogatori, R1 e R2, sia in allenamento che in gara. È evidente la correlazione tra lunghezza della palata e frequenza: la differenza di lunghezza di palata tra R2 e R1, sia nell'allenamento a pochi colpi che nella gara, infatti, comporta che R2 compensi la poca capacità di effettuare una palata lunga con una frequenza di colpi più elevata.

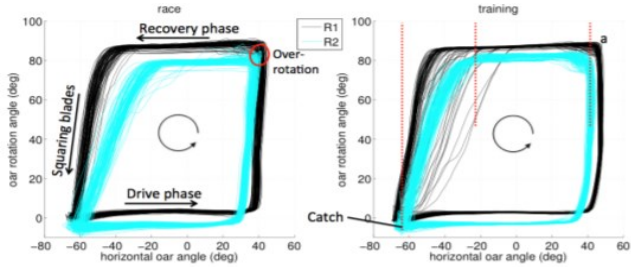


Fig. 9. Angolo di rotazione del remo rispetto all'angolo orizzontale per i vogatori R1 e R2 per entrambe le sessioni (allenamento e gara). [2]

Per quanto riguarda il ritmo invece si studia l'angolo di rotazione del remo rispetto all'angolo orizzontale (figura 9), che aiuta un allenatore ad analizzare la vogata degli atleti e ad identificare quelli che siano in anticipo o in ritardo. La velocità di squadratura della pala è indicata dalla distanza tra le linee tratteggiate rosse.

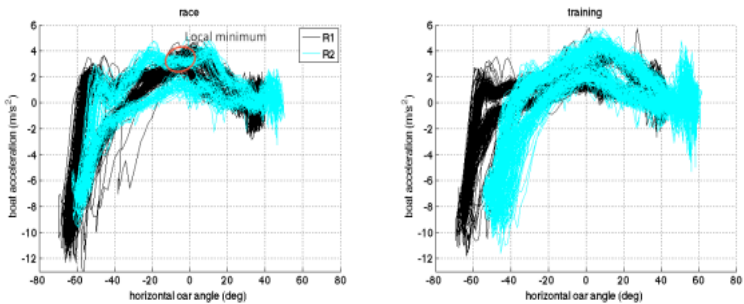


Fig. 10. Accelerazione della barca nella sua direzione di scorrimento rispetto all'angolo orizzontale del remo per illustrare come il movimento del remo attraverso l'acqua accelera la barca. [2]

L'analisi dell'accelerazione della barca, infine, permette all'allenatore di individuare eventuali difetti nella vogata che comportino una perdita di accelerazione (tenendo conto che la barca ha velocità minima nella fase di attacco e massima in finale). Nel caso in esame ad esempio, come si vede dalla figura 10, nella quale è riportata l'accelerazione della barca lungo la sua direzione di cammino in funzione dell'angolo orizzontale del remo, si osserva un minimo locale nel grafico di sinistra della gara all'altezza di metà della passata, punto dove l'accelerazione della barca dovrebbe essere massima.

3.3.2 Secondo studio

In questo paragrafo sarà adottato un sistema che integra un IMU con un sensore GPS al fine di analizzare principalmente la velocità e l'accelerazione della barca. Di ciò si occupa lo studio *Monitoring and Evaluation of Rowing Performance using Mobile Mapping Data* [7], svolto in Grecia.

Il sistema consiste in un sensore GPS associato a un'unità GPS/MEMS-IMU per analizzare una serie di prove di gare in singolo all'Olympic Rowing and Canoeing Center a Shinias, in Grecia.



Fig. 4. La configurazione di GPS e MEMS-IMU utilizzata durante i test preliminari a Shinias al Centro Olimpico di canottaggio e canoa. [7]

La figura 5 mostra il periodogramma (ovvero una funzione della frequenza del segnale) della velocità rilevata dal GPS. La frequenza dominante ($f=0.332$ Hz) rappresenta la frequenza media del ciclo di vogata, che equivale a circa 19 colpi al minuto.

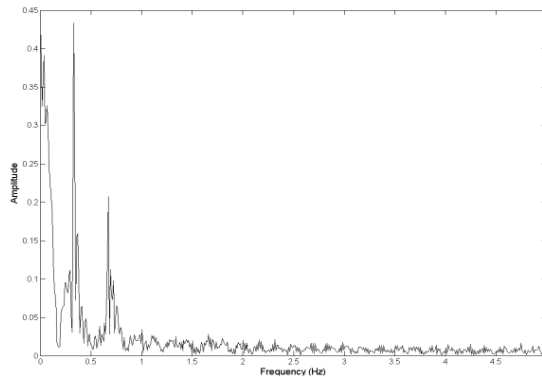


Fig. 5. Periodogramma della velocità GPS della barca ottenuto per un sottoinsieme di test. [7]

La figura 6 mostra il grafico della velocità: la linea tratteggiata mostra la velocità media del colpo, la linea

punteggiata l'osservazione grezza della velocità, quella continua invece rappresenta la velocità filtrata senza il rumore.

Questo grafico è molto utile per analizzare la tecnica e migliorare i difetti. Ad esempio un'eventuale presa in acqua troppo lenta, che si evidenzia dal calo eccessivo della velocità in ripresa (i punti di minimo tra una vogata e l'altra sarebbero più in basso), oppure una palata che in finale è poco accelerata, che si nota nel grafico dall'assenza di un picco di velocità alla fine della passata, come nell'ultima palata più a destra nella figura 6.

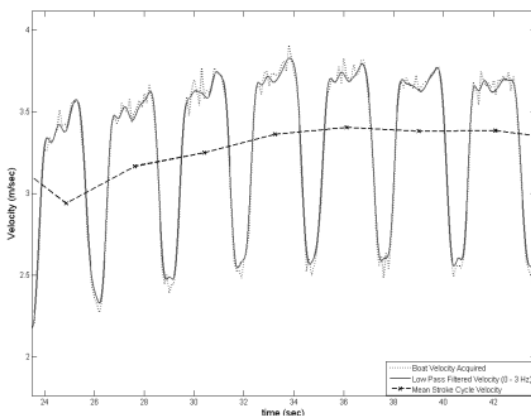


Fig. 6. Stime grezze e calcolate della velocità GPS della barca utilizzando le registrazioni ottenute per un sottoinsieme di un test. [7]

Grazie al sensore inerziale del sistema è anche possibile analizzare accelerazione e velocità, sia per visualizzare chiaramente il ciclo di voga, sia per individuare i punti del singolo colpo dove la barca risente di una tecnica inefficace. Nella figura 8 si distinguono le varie fasi di un singolo ciclo di voga: l'accelerazione è minima alla fine della ripresa, nella posizione di attacco al momento della presa in acqua, ed è massima circa a metà passata. La velocità invece (linea tratteggiata) cala durante la ripresa e aumenta dopo la presa in acqua grazie alla spinta del vogatore.

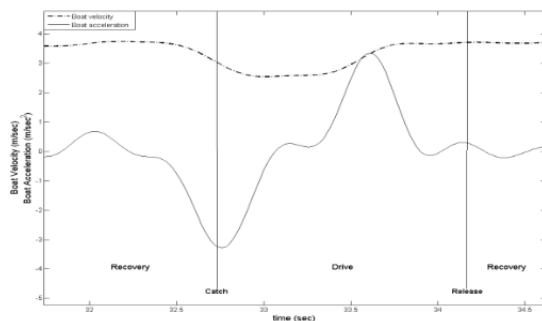


Fig. 8. Esempio di variazione della velocità GPS dell'imbarcazione e dell'accelerazione di un singolo ciclo di voga. [7]

Ci sono dei casi in cui le deviazioni di velocità sono dovute non da una cattiva tecnica ma da un momentaneo guasto del segnale GPS. Confrontando la velocità della barca con

l'accelerazione e il pescaggio della barca, come ad esempio in figura 10, si riescono a distinguere i 2 casi. Nella posizione I, la deviazione di velocità è probabilmente dovuta al vogatore, infatti si osserva che è disturbata l'accelerazione MEMS-IMU, mentre l'altezza di pescaggio GPS non produce fluttuazioni, mentre nella posizione II, avendo un disturbo sia nell'accelerazione che nel pescaggio, probabilmente c'è stato un guasto istantaneo al GPS.

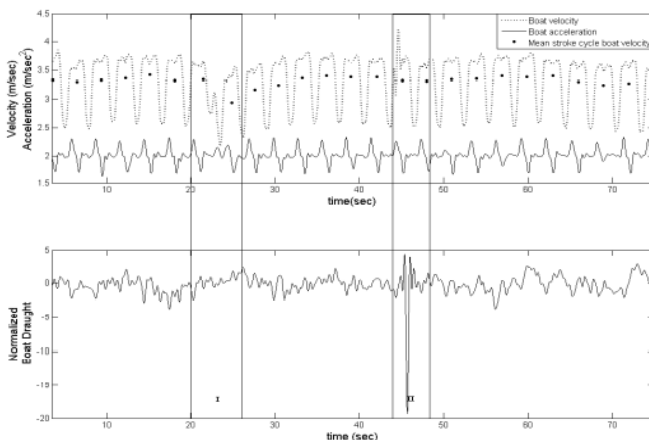


Fig. 9. Esame incrociato dell'accelerazione (MEMS-IMU) dell'imbarcazione rispetto all'altezza di pescaggio GPS ottenuto per un sottoinsieme di un test. [7]

Infine, nella figura 11 avviene un confronto del profilo di velocità tra due atleti, un esperto (in alto) e un principiante (in basso). Si nota distintamente che nel grafico superiore l'atleta compie un efficiente ciclo di voga mantenendo la

velocità elevata durante il finale e la ripresa, mentre nel grafico inferiore l'atleta inesperto fa perdere velocemente velocità alla barca, indicando una tecnica inefficace.

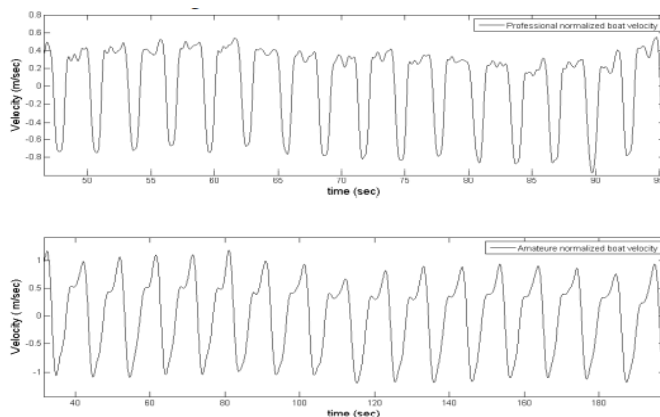


Fig. 11. Esempio profili di velocità GPS della barca ottenuti per due atleti (esperto e principiante). [7]

3.3.3 Terzo studio

Nello studio *Self-Aligning and Drift-Compensated Rowing Seat Position Measurement System Based on Accelerometers and Magnetometers* [8], invece, è stato scelto un sistema di misurazione più semplice. Esso è composto da 2 IMU, fissati uno sul lato inferiore del sedile scorrevole e l'altro attaccato alla barca tra le due guide del carrello. Sono stati attaccati inoltre sia un magnete permanente vicino al sensore del carrello, sia un contatto reed, un interruttore a lamina che si chiude in presenza di

un campo magnetico, vicino al secondo IMU, come rappresentato in Figura 1.

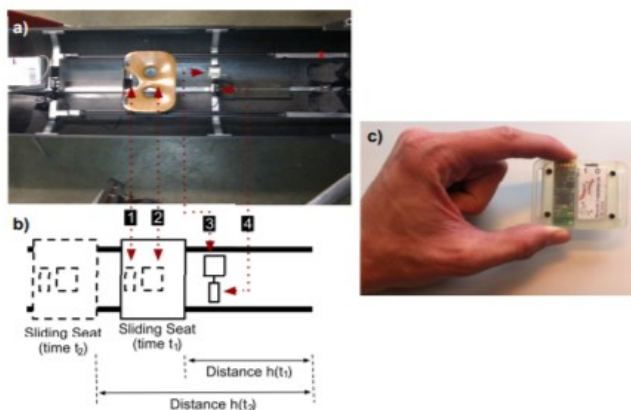


Figura 1: Inseguitore di posizione del sedile scorrevole basato sull'accelerazione (b) montato in una barca a remi (a). Il nucleo è costituito da due sensori di accelerazione tri-assiali sincronizzati: uno di essi è attaccato alla parte inferiore del sedile scorrevole (2) e l'altro modulo sensore è fissato al guscio della barca (3). Per la compensazione della deriva, il sistema è completato da un magnete permanente (1) attaccato al sedile e un interruttore reed (4) attaccato alla barca e collegato al modulo sensore (3). Il modulo sensore ETHOS utilizzato è mostrato in (c). [8]

Il parametro principale di interesse secondo questo sistema di misurazione è la posizione del carrello, calcolabile in diversi passi. Prima di tutto, il disallineamento dei due IMU tra loro è noto; in seguito viene calcolata l'accelerazione del carrello rispetto alla barca; infine una doppia integrazione porta alla posizione del sedile.

Il sensore attaccato alla barca permette di misurare l'accelerazione di questa rispetto al suolo, mentre quello attaccato al carrello consente di misurare la sovrapposizione tra la accelerazione appena citata e l'accelerazione del carrello rispetto alla barca. Per poter ricavare quest'ultima quindi calcolare la differenza tra i vettori di accelerazione dei due sensori (in modo da successivamente derivare la posizione del carrello dalla sua accelerazione). Tuttavia, non essendo sempre allineati i due sensori, bisogna correggere il disallineamento moltiplicando la differenza dei loro vettori di accelerazione per una matrice di rotazione (1)

$$(acc_x, acc_y, acc_z)^T(n) = \overline{acc}(n) = rot(\phi, \theta, \psi) \cdot \overline{acc}_{seat}(n) - \overline{acc}_{boat}(n) \quad (1)$$

Una volta calcolati gli angoli della matrice di rotazione, sfruttando la consapevolezza che il carrello si può muovere rispetto alla barca unidimensionalmente (lungo l'asse x), il vettore accelerazione risultante dovrebbe avere valori trascurabili nelle sue componenti.

La posizione del carrello $h(n)$ si può calcolare quindi con una doppia integrazione della componente di

accelerazione $acc_x(n)$. Non essendo il sensore ideale dobbiamo considerare una componente di errore:

$$acc_x(n) = acc_{real}(n) + acc_{err,i} \quad (3)$$

Questo studio è utile per misurare la posizione del carrello nelle barche da canottaggio, aspetto di notevole interesse per chi lo pratica. Lo studio tuttavia possiede un limite, ovvero il numero di parametri studiati, infatti negli studi precedenti con sistemi di sensori altrettanto semplici si erano riusciti ad analizzare molti più parametri.

3.3.4 Conclusioni

In questo paragrafo abbiamo visto come 3 sistemi di misurazione molto semplici e simili tra loro permettano di analizzare numerosi aspetti della vogata. La presenza di molti parametri studiabili rispecchia la difficoltà della tecnica del canottaggio, che è del tutto innaturale e anti-intuitiva.

I sensori inerziali quindi risultano molto utili per comprendere a fondo la vogata e per analizzare la velocità e l'accelerazione della barca, e in che modo migliorarla agendo sulla tecnica di vogata e sull'allenamento.

CAPITOLO 4: CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo studio è stato analizzare come le tecniche dell'Analisi del Movimento siano applicabili in un complesso movimento biomeccanico come quello del canottaggio per migliorare l'allenamento e le prestazioni nelle gare. Per poter perfezionare questi aspetti sono fondamentali la resistenza fisica e soprattutto la tecnica di voga.

L'elettromiografia di superficie ha permesso di scoprire come i muscoli, all'aumentare del grado di allenamento, condividano il lavoro permettendo una maggiore efficienza e una migliore resistenza. Ha permesso inoltre di identificare la muscolatura meno resistente, con una frequenza di contrazione che si abbassava velocemente, al fine di focalizzare l'allenamento su quelle parti e diminuire la disparità tra i gruppi muscolari, molto importante vista la completezza del movimento.

I sensori e le piattaforme di forza invece sono molto utili in quanto permettono di individuare le asimmetrie nella spinta sui piedi, nel tiro con le mani o nella postura del busto, che possono comportare sia forze svantaggiose per

la velocità della barca, sia difetti nella tecnica poi difficili da correggere.

Per quanto riguarda i sensori inerziali infine, è stata dimostrata la loro facilità di applicazione grazie alla loro natura poco ingombrante, pertanto sono possibili varie soluzioni per misurare i numerosi parametri del canottaggio. Ogni parametro rappresenta un aspetto della tecnica e la sua analisi consente di migliorare i piccoli dettagli che fanno differenza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Federazione Italiana Canottaggio, *I fondamenti del canottaggio italiano, dal 'Rudern' al dott. La Mura*, stampata e distribuita da FIC, Seconda Riedizione, 2019
- [2] B. Tessorf, F. Gravenhorst, B. Arnrich, G. Troster, *An IMU-based Sensor Network to Continuously Monitor Rowing Technique on the Water*, Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2011
- [3] N. Šarabon, Ž. Kozinc, J. Babič and G. Marković, *Effect of Rowing Ergometer Compliance on Biomechanical and Physiological Indicators during Simulated 2,000-metre Race*, in Journal of Sports Science and Medicine 18, 264-270, 2019
- [4] Z. Sawacha, *Bioingegneria del Movimento*, Slides
- [5] R.C.H. So, M.A. Tse, S.C.W. Wong, *Application of Surface Electromyography in assessing muscle recruitment patterns in a six-minute continuous rowing effort*, Journal of Strength and Conditioning Research, 21(3), 724–730, 2007
- [6] P. Pudlo, A. Pinti and F-X. Lepoutre, *Experimental laboratory apparatus to analyze kinematics and 3D kinetics in rowing*, Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 2005

- [7] A. Mpimis, V. Gikas, *Monitoring and Evaluation of Rowing Performance using Mobile Mapping Data*, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, Vol. 22, pp. 337-349, 2011
- [8] F. Gravenhorst, C. Thiem, B. Tessendorf, R. Adelsberger, C. Strohrmann, B. Arnrich, and G. Tröster, *Self-Aligning and Drift-Compensated Rowing Seat Position Measurement System Based on Accelerometers and Magnetometers*, Wearable Computing Lab, ETH Zurich, Switzerland and Institute of Numerical Methods in Mechanical Engineering and Graduate School of Computational Engineering, Technische Universität Darmstadt, 2012

INDICE DELLE IMMAGINI

- [9] <https://www.independent.co.uk/news/olympics-latest-croatian-brothers-win-rowing-gold-tokyo-olympics-romania-denmark-b1892610.html>
- [10] <https://www.thewaverowing.com/oarsome>
- [11] <https://picclick.it/Electromyogram-EMG-Muscle-Sensor-Board-EMG-Cable-Disposable-304166396301.html>
- [12] <https://www.abilitygroup.it/blog/?applicazioni-pratiche-e-benefici-dell-utilizzo-delle-pedane-di-forza-in-riabilitazione>
- [13] https://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/Sensori%20fisici_3.pdf
- [14] <http://www.liceoariosto.it/strumentaria/catalogo/s/249/Giroscozio>
- [15] https://www.researchgate.net/figure/Definition-of-terms-for-ship-three-axis-translational-and-rotational-motion_fig1_268581370
- [16] <http://www.salaniboats.com/>