



nuova CANOA RICERCA

Direttore

Luciano Buonfiglio

Direttore responsabile

Johnny Lazzarotto

Comitato di redazione

Andrea ARGIOLAS

Coordinatore di Redazione

Marco Guazzini

Direzione e Redazione

Federazione Italiana Canoa Kayak
"Nuova Canoa Ricerca"
Viale Tiziano, 70 - 00196 Roma

Segreteria di redazione

Matteo LUCENTE

Numero 71

**Aut. Trib. Roma n. 232/2006
del 8/6/2006**

Fotocomposizione e stampa

MP CENTRO s.r.l.

Viale Battista Bardanzellu, 77N
00155 Roma

SOMMARIO

L'Angolo

di Andrea Argiolas

pag. 2

**Analisi cinematica e dinamica in acqua
nel Kayak velocità e valutazione
degli aspetti biomeccanici**

Claudio Ghelardini, Marco Guazzini

pag. 3

INDICAZIONI PER GLI AUTORI

La rivista "Nuova Canoa Ricerca" è aperta a tutti i contributi (articoli, studi, ricerche, ecc.) che abbiano una certa rilevanza per la scienza e la cultura sportiva, con particolare riferimento alla sport della canoa.

Gli interessati possono inviare il materiale da pubblicare, via e-mail, a: centrostudi@federacanoa.it, oppure in forma cartacea o su supporto magnetico (CD, floppy disk) a: Nuova Canoa Ricerca, Federazione Italiana Canoa Kayak, Viale Tiziano 70, 00196 Roma.

Il testo deve essere riportato su un numero massimo di 20 cartelle, 25 righe, 60 battute, interlinea 1,5, formato "Word", max 30.000 caratteri. Le pagine devono essere numerate. Eventuali figure, grafici, foto, dovranno essere numerati e inseriti nel testo. L'articolo dovrà riportare Cognome, Nome e breve curriculum dell'autore.

L'articolo deve essere strutturato nel seguente modo:

- Abstract, max 20 righe (circa 1500 caratteri), comprendente lo scopo della ricerca, il metodo usato, il sommario dei risultati principali. Non deve comprendere le citazioni bibliografiche.
- Introduzione, natura e scopi del problema, principali pubblicazioni sull'argomento, metodo usato e risultati attesi dalla ricerca.
- Metodologia seguita: ipotesi, analisi e interpretazione dati, grafici, tabelle, figure, risultati.
- Conclusioni. Principali aspetti conclusivi, applicazioni teoriche e pratiche del lavoro.
- Bibliografia, solo degli autori citati nel testo con in ordine: Cognome, Nome, anno di pubblicazione, titolo, rivista, numero della rivista, pagine o casa editrice, città, se libro.

La pubblicazione è subordinata al giudizio del Comitato di Redazione.



L'ANGOLO di Andrea Argiolas*

Volendo rappresentare la stagione appena trascorsa, quella che si pone a metà della nostra particolare unità di misura temporale, il quadriennio olimpico, la prima immagine che mi viene in mente è quella di un quadro. Un dipinto a tinte forti, caratterizzato da chiari e scuri intensi ma per questo anche contrastanti.

Sole e luce diretta sullo Slalom e sull'artista della pagaia Daniele Molmenti. Splendido esempio di talento, forza e determinazione, doti autentiche e cristalline, che quest'anno gli hanno permesso di vincere tutto!!! L'ammirazione e i complimenti per questo grande atleta non possono che coinvolgere quanti hanno concorso ai suoi successi e a quelli di un team che, a dimostrazione dell'ottimo lavoro svolto in questi anni, appare forte in tutti i settori e in tutte le categorie.

Riflettori accesi anche su Discesa, Canoa Polo, Maratona e Canoa Disabili, discipline in crescita e prodighe di medaglie e successi internazionali.

Un cono d'ombra, ma con ampi squarci di luce, sulle discipline veloci completa il quadro della stagione appena conclusa. Nell'anno che precede le selezioni per i Giochi Olimpici e che, con le medesime prestazioni, vedrebbe squalificate tre barche, il risultato non ci soddisfa. La voglia di ripartire è tanta e l'auspicio, déjà-vu lo scorso anno nello Slalom, è quello che, dalle incertezze e dalle "alghe" di Poznan, possano nascere le soddisfazioni per i prossimi due anni. Questo ottimismo, non di facciata o di parte, trova conferma proprio in quei bagliori di cui si diceva, come lo storico successo del K4 1000 agli europei under 23, il bronzo sui 5000 di Max Benassi, la crescita e la conferma della nazionale junior ancora in medaglia nelle Donne e nella Canadese, che testimonia la validità dei nostri vivai.

Terminata la piacevole ma lacunosa (e me ne scuso) carrellata sui risultati, riprendo i panni istituzionali per parlare di formazione e ricerca: settori che proprio nei periodi a cavallo tra le stagioni agonistiche, sviluppano gran parte delle attività.

Quella 2010-11 per la Formazione sarà una stagione cruciale in quanto tutti i corsi previsti dalla Guida alla Formazione, sostanzialmente modificata lo scorso anno, saranno attivi contemporaneamente: sono già partite tutte le attività regionali (tecnici di base, Istruttori e Tecnici disabili) e il corso Maestri Mare; già bandito e in partenza il Corso Allenatori, mentre è imminente l'uscita del bando del corso Maestri Fluviali.

Dopo le modifiche questa sarà anche la stagione in cui tutto il sistema "Formazione dei quadri tecnici agonistici" andrà a regime. Mentre nel giro di un altro anno, con la definizione e l'introduzione dei percorsi formativi delle "Guide" sarà completato anche quello relativo al filone turistico, amatoriale e commerciale che, partendo dal primo e comune livello con i settori agonistici (Tecnico di base), proseguirà il suo iter, proprio con le Guide Canoa Kayak da Mare/Fiumi, per finire con la qualifica massima di Maestro, sempre nei due indirizzi, Mare e Fiume.

Anche sul versante Ricerca, pur con qualche difficoltà, tutte le azioni programmate sono regolarmente in corso d'opera. Gli studi in collaborazione con l'Istituto di Scienza dello Sport (ISS) del CONI (intesa che coinvolge anche la l'INSEAN e la Ferrari), dopo due anni di sperimentazioni, dai mondiali di Poznan, hanno avuto importanti applicazioni sul campo e speriamo tra breve di poter ospitare, su queste pagine, le considerazioni e i risultati direttamente dai ricercatori e dai tecnici che stanno lavorando agli studi. Stessi auspici e medesime considerazioni anche per l'altra ricerca, quella sui 200 metri, in atto con l'Università di Tor Vergata.

Nel frattempo, sempre sul tema "studi e ricerche", in questo numero, proseguendo con la nuova impostazione editoriale, quella monografica, pubblichiamo una riduzione della tesi di Claudio Ghelardini al Corso di quarto livello, curata dal nostro Marco Guazzini. Si tratta di un articolo a quattro mani che rielabora e analizza, in chiave tecnica, tutti i risultati della prima batteria di test fatta nel 2008, poco prima delle Olimpiadi di Pechino, proprio dal gruppo che, anche attualmente, lavora nell'ambito del citato protocollo tra FICK-ISS-Ferrari.

Quest'ultima pubblicazione rappresenta un esempio di come diffondere risultati di studi e ricerche, ma anche dati ed evidenze relative alle sistematiche osservazioni fatte sul campo dai tecnici delle nostre squadre nazionali durante gare o raduni. Così, proprio per favorire una maggiore fruibilità delle conoscenze e il collegamento tra le attività di vertice e la base, il Centro Studi, già dalla scorsa stagione, partecipa con i suoi collaboratori alle trasferte internazionali e, anche di questo, verrà dato conto in queste pagine o nella rivista web "Canoa Kayak on-line". Insomma, gli obiettivi sono tanti e allora.... dalle società alle squadre, dagli atleti ai dirigenti, dai tecnici ai ricercatori.... tutti al lavoro!!! E, riprendendo la metafora iniziale, proviamo tutti ad essere un po' pittori, tutti intenti a colorare e dar luce a zone d'ombra, perché il dipinto, di cui tutti siamo autori, sempre più sia opera d'arte.



Claudio Ghelardini, Marco Guazzini

ANALISI CINEMATICA E DINAMICA IN ACQUA NEL KAYAK VELOCITÀ E VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI BIOMECCANICI

ABSTRACT

Il lavoro rappresenta una sintesi, con revisione e rielaborazione di alcuni concetti da parte del Centro Studi FICK, del Project Work conclusivo del IX Corso Nazionale per Allenatori di Quarto livello Europeo, discusso dall'autore presso la Scuola dello Sport di Roma, il 14/12/2009 (Supervisore: Dott. Dario Dalla Vedova).

In questa ricerca sono state analizzate le caratteristiche tecniche di 4 canoisti di alto livello (3 uomini, 1 donna), 3 dei quali hanno partecipato alle Olimpiadi di Pechino con ottimi risultati. L'acquisizione dei dati è stata effettuata dal Dipartimento di Scienza dello Sport dell'Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del CONI di Roma. A tale scopo sono state utilizzate sofisticate strumentazioni, quali accelerometro (piattaforma inerziale X sens), solette baropodometriche sensorizzate (Pedar), telecamera (Sony HD e HS), software di video analisi (Dartfish), rilevando tutte le fasi della pagaiata nonché le componenti del moto della canoa.

I test effettuati consistevano in quattro prove di 150 m a frequenza di pagaiata crescente, per ogni atleta, svolti in una corsia delimitata da

boe. Ogni prova è stata ripresa con la telecamera posizionata su un gommone che ha seguito parallelamente il kayak per tutto il percorso.

Sono stati osservati e verificati:

- Rapporto fra fase aerea e fase in acqua alle varie frequenze di pagaiata.
- Asimmetria di pagaiata e analisi dei fenomeni ad essa connessi, quali il rapporto esistente tra le accelerazioni lungo i tre assi e l'assetto dell'imbarcazione.
- Efficacia della pagaiata in termini di velocità di avanzamento della canoa ad ogni colpo e le relazioni di questo parametro con l'accelerazione longitudinale e l'aumento della velocità del kayak.
- Relazione tra la spinta espressa sulla pedaliera e l'accelerazione longitudinale del kayak.
- Individuazione delle caratteristiche fondamentali della pagaiata e dei valori di forze e di accelerazione di un canoista di alto livello.
- Durata media della "fase positiva" della pagaiata, definita come "parte del colpo in grado di produrre propulsione quindi accelerazione della canoa".

INTRODUZIONE

Lo studio del gesto della pagaiata può essere osservato da vari punti di vista: meccanico, biomeccanico, bio-energetico o metabolico, neuro-muscolare.

Nel seguente lavoro verranno sviluppati in particolare il primo ed il secondo aspetto. Verrà analizzato il movimento del sistema barca, pagaia e canoista, sia attraverso l'esame delle

sue singole componenti, che in forma complessiva.

Ricordando che la Meccanica si compone di tre discipline, la Statica, la Cinematica e la Dinamica, in particolare attraverso queste ultime due branche si cercherà, grazie anche all'ausilio di apparecchiature tecnologicamente all'avanguardia, di descrivere il moto dell'im-



barcazione.

In particolare, attraverso la cinematica, che studia il moto dei corpi prescindendo dalle cause che lo hanno generato, nel nostro ambito potremmo disporre di relazioni capaci di descrivere le diverse posizioni assunte dallo scafo con il trascorrere del tempo, così da poterle rappresentare numericamente o graficamente.

L'approccio dinamico verte sullo studio dell'andamento delle forze agenti sul kayak e della loro influenza sul moto. Anche per conoscere le forze trasmesse dall'atleta alla canoa è necessario disporre di strumenti che ne permettano la rilevazione e l'acquisizione dei dati. Strumenti che, grazie alle moderne tecnologie, permettono di rilevare molti particolari relativi alla dinamica dello scivolamento del kayak. Particolari che al Tecnico spesso risultano evidenti, ma che difficilmente è in grado di quantificare.

Perfettamente in linea con lo scopo di questo studio e grazie all'ausilio di video, valido strumento di analisi fruibile a tutti, sono state rilevate alcune dinamiche inerenti il moto della canoa in acqua e le caratteristiche fondamentali della tecnica di pagaiata.

Sono state ricercate quindi, le relazioni che legano il movimento umano (gesto) alla loco-

mozione del mezzo (kayak sportivo), in particolare attraverso i seguenti aspetti:

- Individuazione delle caratteristiche fondamentali della pagaiata e dei valori di forze e accelerazioni riferite a canoisti di alto livello.
- Rapporto fra fase aerea e fase in acqua alle varie frequenze di pagaiata.
- Asimmetria di pagaiata e analisi dei fenomeni ad essa connessa, quali il rapporto esistente tra le accelerazioni lungo i tre assi e l'assetto dell'imbarcazione.
- Efficacia della pagaiata in termini di velocità di avanzamento della canoa ad ogni colpo e le relazioni di questo parametro con l'accelerazione longitudinale e l'aumento della velocità del kayak.
- Relazione tra la spinta espressa sulla pedaliera e l'accelerazione longitudinale del kayak.
- Individuazione delle caratteristiche fondamentali della pagaiata e dei valori di forze e di accelerazione di un canoista di alto livello.
- Determinazione del tempo della "fase positiva" che può essere definita come "parte del colpo in grado di produrre propulsione quindi accelerazione della canoa" (Guazzini e Mori, 2008).

1. Descrizione del moto della canoa e sistemi di riferimento

La Canoa, essendo un corpo solido, possiede un baricentro o centro di gravità, per il quale possiamo immaginare che passino tre assi tra loro perpendicolari.

Chiameremo **asse longitudinale** l'asse che corre orizzontalmente congiungendo la prua con la poppa, tale asse divide in due parti simmetriche il kayak.

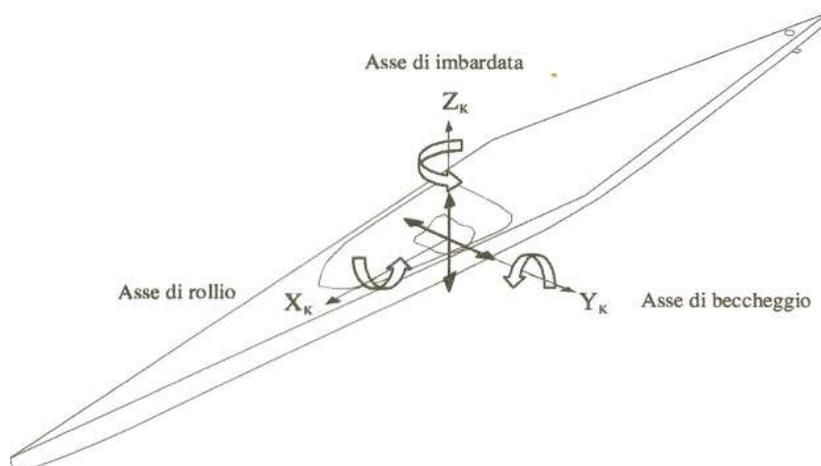
L'**asse trasversale** è l'asse che, sempre orizzontalmente, congiunge le due pareti laterali dell'imbarcazione.

L'**asse verticale** è quell'asse che corre in senso verticale perpendicolarmente ai precedenti due assi.

La risultante delle forze in gioco nel sistema

Pagaia-Atleta-Kayak non consente alla canoa di procedere con una velocità e direzione costante. L'equilibrio alternato che regola il movimento si basa sul terzo principio della dinamica (azione e reazione) e dipende dalle forze prodotte dal canoista, attraverso l'attrito della pagaia sul punto d'appoggio o supporto di spinta (l'acqua) e il continuo variare della resistenza, propria dello scafo, alle sue variazioni di velocità.

Le forze, generate dall'atleta, vengono trasmesse sull'imbarcazione, in parte, attraverso la spinta dei piedi sulla pedaliera e, per il resto, attraverso il sedile sul quale si scarica il peso del suo busto (Guazzini, Mori, 2008; Guerrini,



Disegno 1 - Rappresentazione degli assi e angoli di oscillazione (da: Saraceni, 1999).

Petrone, Isotti, 2008).

In fase di partenza le resistenze idrodinamiche sono basse e il sistema, per effetto delle forze generate dal canoista, colpo si colpo, accelera progressivamente fino a raggiungere la sua velocità media ottimale. Alle velocità prossime a quelle massimali, sviluppate nelle distanze dei test o in gara, queste resistenze diventano elevate perché crescono in modo esponenziale con la velocità, pertanto si crea una condizione in cui la velocità media non aumenta più (il sistema non accelera). Tuttavia se viene analizzata ogni pagaiata, osserviamo che, durante la passata in acqua e anche quando non si registra un aumento medio della velocità, è presente

un'accelerazione dello scafo determinata dal fatto che la forza applicata in quell'istante è maggiore delle resistenze, mentre, durante la fase aerea, non essendoci applicazioni di forza, permanendo le resistenze, il sistema decelera. Quindi la canoa, anche quando procede a velocità media costante, in realtà è soggetta a continue fasi di accelerazione (prevalenza della forza sulle resistenze) e decelerazione (prevalenza delle resistenze, in assenza di applicazione di forza, sull'inerzia posseduta dal mezzo). Le stime di questa decelerazione senza propulsione, disponibili in letteratura, sono scarsissime. Riportiamo una tabella tratta da un lavoro di Colli, Introini, 2004 (dati non pubblicati):

K1 a vel 4,03 m/s (2'04"/500)			K1 a vel 4,62 m/s (1'48"/500)		
t dallo stop (ms)	vel (m/s)	% dalla vel.iniziale	t dallo stop (ms)	vel (m/s)	% dalla vel.iniziale
0	4,03		0	4,62	
200	3,74	-7,20%	200	4,16	-9,96%
400	3,58	-11,17%	400	3,82	-17,32%
600	3,51	-12,90%	600	3,67	-20,56%
800	3,44	-14,64%	800	3,56	-22,94%
1000	3,37	-16,38%	1000	3,49	-24,46%

Tabella 1 - Andamento della decelerazione. Test eseguiti con accelerometria assiale ("Ergokayak-2") raggiungendo una data velocità e mantenendo la posizione senza propulsione per 3" (K1 "Nelo-Vanquisch 1" e "Scorpion"). (Colli-Introini, 2004, dati personali non pubblicati, modificati. In: Guazzini e Mori, 2008).



Gli scafi pesanti (K2 e K4) tendono ad avere meno decelerazione poiché la loro maggiore inerzia tende a mantenere costante la velocità per un tempo maggiore. Inoltre la frequenza dei colpi è maggiore che nelle barche singole e quindi, essendo le fasi aeree più brevi, l'imbarcazione tenderà a rallentare più lentamente (Guazzini, 2000).

Tuttavia, le forze espresse provocano, oltre all'avanzamento longitudinale, anche movimenti sugli assi trasversale (o laterale) e verticali, con continui cambiamenti d'assetto dell'imbarcazione, denominati:

a) Rollio: tale movimento consiste in una rota-

zione della canoa attorno all'asse longitudinale che inclinerà l'imbarcazione, ora a destra ora sinistra, a secondo del lato di propulsione della pagaia.

b) Beccheggio: consiste in una rotazione che la canoa compie attorno al suo asse trasversale immergendo alternativamente prua e poppa.

c) Imbardata o scodinzolo: è la rotazione che il kayak compie attorno all'asse verticale volgendo la prua da un lato e conseguentemente la poppa dal lato opposto.

È per questo motivo che è presente un timone con la funzione di deriva e di correzione delle traiettorie.

2. Evoluzione del concetto di forza applicata nella canoa

Boiko (1987) effettuò uno studio sulla forza applicata nel kayak e nella canadese, partendo da una formula derivante da studi di idrodinamica effettuati dallo stesso autore nel 1972, e dei quali non è noto se derivino da prove di trascinamento o da elaborazione teorica. La formula sulla quale Boiko impostò il suo studio era: $F=S V^2 C$, dove F era la resistenza frontale della canoa in Kg, S la sezione trasversale dello scafo, V^2 il quadrato della velocità della canoa, C il coefficiente di penetrazione della canoa. Essendo C costante per molte canoe ed S comunque anche in funzione del peso del sistema canoa-canoista-pagaia, l'autore semplificò la formula, scrivendo che F è riconducibile essenzialmente ai due parametri: peso del

sistema (kg) e velocità al quadrato (V^2).

I principi di Boiko, furono utilizzati da Colli e coll. (1990) in uno studio sulla valutazione funzionale del canoista, arrivando ad individuare il parametro Joule/colpo/kg.

I valori di resistenza sono stati riverificati, con le imbarcazioni attuali, in uno lavoro svolto presso la vasca navale dell'INSEAN di Roma (Lagala-Colli-Introini, 2007, dati personali non pubblicati. In: Colli e coll., 2009).

È importante ricordare che i dati raccolti da questi studi derivano da prove di trascinamento che, pertanto, non sono in grado di riprodurre i fenomeni del beccheggio, rollio e imbardata, prodotti invece dalla propulsione del canoista (Guazzini e Mori, 2008).

3. La tecnica di pagaia

La tecnica di pagaia è quell'insieme di movimenti coordinati che il canoista esegue per pervenire ad un gesto efficiente ed efficace, i cui parametri principali sono: la lunghezza efficace, la frequenza di movimento e la forza applicata al gesto specifico.

L'uso che l'atleta fa della pagaia, la sua forma, le sue dimensioni (lunghezza e larghezza), il sedile e la sua altezza, devono essere studiati ed adattati affinché ogni atleta possa esprimere

la tecnica migliore, quella in grado di fornire la massima energia propulsiva all'imbarcazione con il minimo dispendio energetico, cioè quella capace di garantire il miglior rendimento.

Non esiste un modello standardizzato di tecnica ma, sulla base di comuni principi generali, coesistono tante individualizzazioni che dipendono da fattori strutturali, funzionali, di origine mentale o riferite a diverse scuole canoistiche. I modelli di tecnica sono anche condizio-



nati dalla distanza di gara: nella Maratona il gesto ottimale è quello caratterizzato da una grande efficienza, che permette un ottimale utilizzo dei substrati energetici; mentre nei 200 m. l'aspetto più significativo è rappresentato dall'efficacia del gesto, quella capace di favorire nel più breve tempo possibile la velocità massima e il suo mantenimento, con l'utilizzo dei meccanismi anaerobici utilizzati tutti al massimo della potenza.

Tuttavia, in atleti di altissimo livello, è costante la capacità di avere una notevole efficienza propulsiva, riducendo al minimo le resistenze idrodinamiche. Pertanto, appare evidente che, per avere un avanzamento efficace, c'è bisogno di ottimizzare la tecnica, ottenuta grazie all'utilizzo di determinati angoli biomeccanici e di una corretta dinamica del colpo, raggiungendo i seguenti obiettivi tecnici (Guazzini e Mori, 2008):

- Maggiore applicazione di forza, legata ad una lunghezza dell'efficacia propulsiva, rapidità esecutiva, angolo ottimale della

pagaia sul piano frontale;

- Efficace trasmissione del movimento con una spinta di gambe decisa, omogenea e sincrona, attuata con una catena cinetica, che inizia dalla spinta del piede e prosegue con il tronco fino al braccio;
- Riduzione delle resistenze idrodinamiche, velocità di messa in pressione della pala, mancanza di anticipo del braccio di spinta rispetto a quello di tirata, estrazione veloce per verticalizzazione ottimale della pagaia;
- Rapporto ottimale tra fase aerea e fase in acqua, per consentire all'atleta durante la fase aerea di recuperare la lunghezza efficace del colpo.

Rilevare gli errori tecnici è determinante per il raggiungimento di una buona tecnica, rimane pertanto insostituibile l'analisi della pagaiata con videocamera, utilissima anche per poter verificare quali siano i parametri tecnici di efficacia comuni in atleti che mostrano un ottimo rendimento.

METODOLOGIA DELLA RICERCA

1. Materiali e Metodi

1.1. Strumenti esterni utilizzati per la rilevazione dei dati

- Telecamera Sony HD FX 7E, ad alta definizione, con velocità dell'otturatore fino ad 1/10.000 di secondo, capace di acquisire 50 fotogrammi al secondo.
- Software di acquisizione New Dartfish 5.0, sistema di videoanalisi per la rilevazione del gesto atletico, che permette di rilevare angoli, traiettorie, distanze ed inoltre ha la possibilità di sincronizzare più filmati.

1.2. Strumentazione montata a bordo

- Piattaforma inerziale Xsens, sistema di rilevamento di assetto e di direzione. Fornisce dati di posizione e di velocità combinate a dati di accelerazione, queste caratteristiche permettono l'impiego in particolari applicazioni per il controllo, nell'acquisizione di

dati inerziali relativi al movimento umano in tempo reale e lungo le tre dimensioni. Tale strumento è in grado di misurare a 100 Hz (100 volte al secondo) i seguenti canali: tre accelerazioni (longitudinale, laterale o trasversale, verticale); tre velocità angolari e tre angoli di assetto (rollio, beccheggio, imbardata). La piattaforma inerziale Xsens è stata installata sopra la coperta dell'imbarcazione, successivamente è stata tarata, equilibrata e messa in linea in corrispondenza dell'asse longitudinale.

- Sistema baropodometrico Pedar con solette sensorizzate e relativo software di analisi dati, strumento accurato ed affidabile per la misurazione della pressione esercitata dai piedi sulla pedaliera del Kayak. Per ogni soletta è possibile misurare 100 punti di pressione, che forniscono come risultante la forza espressa sulla pedaliera (N) e per il controllo dei carichi locali tra il piede e la



scarpa. Il suo aspetto è simile ai comuni plantari e si inserisce normalmente all'interno delle scarpe. Sono state successivamente

collegate tali strumentazioni all'antenna utilizzata per inviare in telemetria i dati al computer.



Immagine 1 - Piattaforma inerziale Xsens montato sulla coperta dell'imbarcazione, sensori delle solette sensorizzate e antenna per invio dei dati in telemetria.

I dati inviati in telemetria per mezzo dell'antenna sono stati rilevati in tempo reale per mezzo di un computer, posizionato sul gommone. È stato così possibile osservare il soggetto e al tempo stesso rilevare il controllo della pressione dinamica.

1.3. Grafico accelerometrico di un ciclo di pagaiata

Di seguito, per meglio poter comprendere

come tali fasi siano rappresentate graficamente, utilizzando i dati ricavati dall'accelerometro, viene mostrata un'immagine riferita alle accelerazioni longitudinali di un ciclo completo di pagaiata, compiuto da un'atleta maschio ad una frequenza di 120 colpi/minuto (grafico n.1). Già da una prima osservazione notiamo come nella fase di attacco e di svincolo (frecche verdi) siano presenti degli stati di accelerazione negativa e quindi di perdita di velocità del kayak.

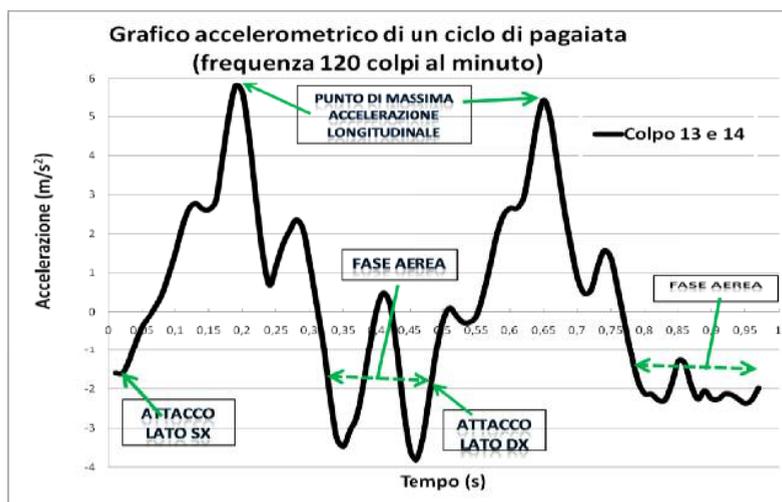


Grafico 1 - Accelerazioni longitudinali di un colpo ad una frequenza di 120 colpi al minuto.



1.4. Il programma delle prove

La tipologia dei Test prevedeva, per ogni atleta, quattro prove di 150m con partenza da fermi, a frequenza di pagaiata crescente.

Tale distanza è stata utilizzata allo scopo di non compromettere la rilevazione dei dati per motivi collegati a fenomeni di affaticamento, per lo stesso motivo tra una prova e l'altra è stato dato un recupero completo.

1.5. Rilevazione dei dati e dei video

Con l'ausilio della telecamera ad alta definizione e un gommone, è stata ripresa ogni singola prova, cercando di rimanere il più possibile paralleli all'asse longitudinale della canoa, allo scopo di poter successivamente visualizzare in modo più preciso la tecnica di pagaiata.

1.6. La partenza

Al fine di poter successivamente riuscire a sincronizzare in modo sufficientemente preciso i dati rilevati dalla strumentazione e i video di ogni prova, ogni atleta prima della partenza ha compiuto dei movimenti prestabiliti.

Tali movimenti sono stati necessari per rilevare visibilmente dei segnali e riuscire in questo modo a sincronizzare il video con i dati strumentali.

1.7. Dati rilevati con la strumentazione Con i video sono stati rilevati:

- Tempi di durata di ogni prova (s);
- Conteggio dei colpi totali;
- Misurazione del rapporto tra la fase aerea ed in acqua di ogni ciclo di pagaiata.

Con l'accelerometro sono stati rilevati:

- accelerazione longitudinale, laterale, verticale in (m/s^2);
- rollio, beccheggio e imbardata in gradi ($^\circ$).

Con le solette baropodometriche sono state rilevate:

- Le forze espresse dai piedi sulla pedaliera, in Newton (N).

1.8. Dati calcolati

- **Frequenza di pagaiata** (Colpi prova x

60sec / Tempo prova);

- **Velocità media della prova** (m150 / Tempo prova (s));
- **Durata del colpo medio** (Tempo della prova (s)/ colpi tot);
- **Determinazione del rapporto fase in acqua/ fase in aria;**
- **Determinazione della "fase positiva"** che può essere definita come "parte del colpo in grado di produrre propulsione, quindi accelerazione della canoa";
- **Velocità stimata con l'ausilio dell'accelerometro (m/s).** Gli accelerometri misurano la variazione della velocità da un istante precedente a uno successivo. Con un procedimento grafico-numerico si possono rilevare le velocità. Per misurare in modo preciso la velocità è necessario però conoscere delle costanti d'integrazione, nello sport della canoa non è semplice perché l'imbarcazione in acqua difficilmente rimane immobile;
- **Efficacia del colpo in termini di velocità di avanzamento della canoa, ad ogni colpo (m/s).** Per rilevare tale valore, a dimostrazione dell'efficacia dei singoli colpi della pagaiata, è stato utilizzato il software Dartfish, grazie al quale è stato possibile misurare i tempi e le lunghezze della fase in acqua (che corrispondono all'avanzamento della canoa) con una precisione di due centesimi secondo e la lunghezza con una precisione di 2/3 cm.

E' importante ricordare che il parametro "lunghezza della passata" non tiene conto in questo caso dell'arretramento della pala in acqua che riduce in tal senso la lunghezza della passata (e quindi l'avanzamento della canoa!!). Sappiamo invece (Guazzini e Mori, 2008) che l'arretramento della pala in acqua, fattore di difficile misurazione anche con strumentazioni molto precise come quelle adottate, è un elemento sempre presente nel gesto della pagaiata e può oscillare intorno a valori di 20-40 cm.

A titolo esemplificativo è stata riportata la



rilevazione riferita al colpo numero 44 della quarta prova dell'atleta 1 maschio. E' stato scelto come unità di misura la distanza dalla prua alla fine del pozzetto, tale misura è stata

rilevata a terra, è stata utilizzata questa unità di misura perché questo segmento è sempre ben visibile e molto vicino alla fase di passata in acqua.



Immagine 2-3. Misurazione dell'attacco in acqua e della fase di svincolo tratta dalla quarta prova dell'atleta 1 maschio, colpo 44.

E' stata misurata la distanza tra la prua e la parte interna della pagaia (immagine 2-3), facendo attenzione a seguire la linea di galleggiamento della canoa, quindi è stato preso in considerazione la lunghezza della passata in acqua ($2,69\text{m} - 1,37\text{m} = 1,32\text{m}$), corrispondente all'avanzamento della canoa e il tempo di esecuzione (in questo caso $0,30\text{ s}$), misurata sempre con l'ausilio del software d'acquisizione e successivamente è stata calcolata la velocità di avanzamento della canoa, rispetto alla pagaia, con il margine di errore prima descritto (arretramento

della pala).

1.9. Sincronizzazione dei video con i dati rilevati dall'accelerometro e le solette sensorizzate.

E' stata effettuata una sincronizzazione tra i video ed i diversi sistemi di misura installati a bordo.

Di seguito sono mostrate delle immagine tratta dal filmato di una prova sincronizzata, dalle quali è possibile verificare in ogni momento la pressione esercitata sulla pedaliera e i dati dell'accelerazione longitudinale del kayak.

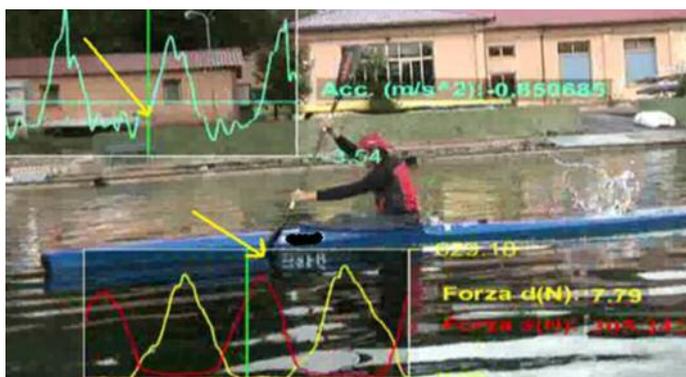


Immagine 4 – Video sincronizzato con grafico di accelerazione longitudinale e forze esercitate sul puntapiedi, durante la fase di immersione dell'atleta A3-M, 1° prova. Da notare che al momento dell'immersione della pala in acqua, la canoa è in fase di decelerazione (-0.85 m/s^2) e che la spinta del piede corrispondente è già ad un buon valore (305.34 N).

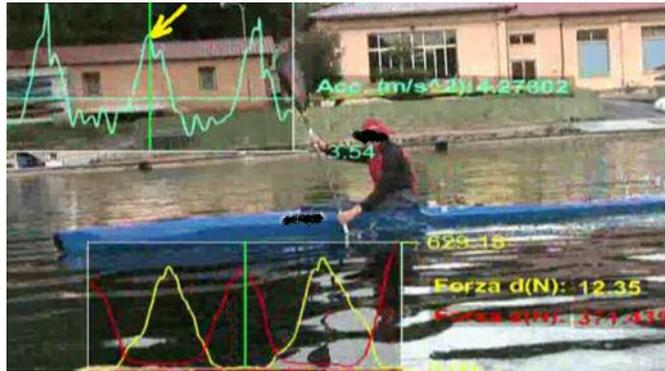


Immagine 5 – Video sincronizzato con grafico di accelerazione longitudinale e forze esercitate sul puntapiedi, durante la fase propulsiva dell'atleta A3-M, 1° prova. Il punto corrisponde alla massima accelerazione longitudinale (4.27 m/s^2) e alla massima spinta del piede corrispondente (371.13 N).

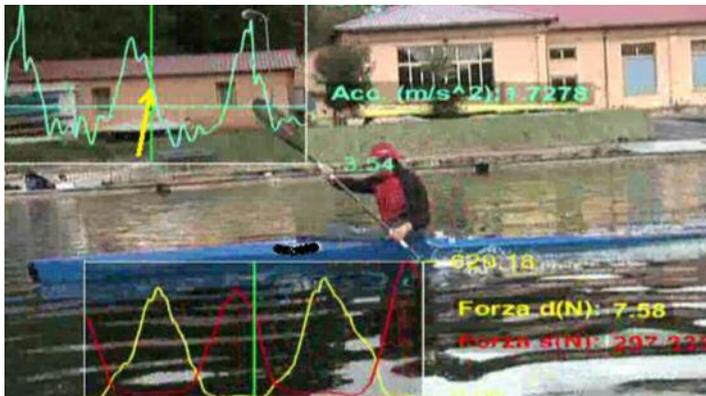


Immagine 6 – Video sincronizzato con grafico di accelerazione longitudinale e forze esercitate sul puntapiedi, durante la 2° fase propulsiva dell'atleta A3-M, 1° prova. Il punto è subito precedente all'estrazione e si nota un forte calo di accelerazione con imminente inizio di decelerazione (1.72 m/s^2) nonché una riduzione della spinta del piede corrispondente (297.33 N).

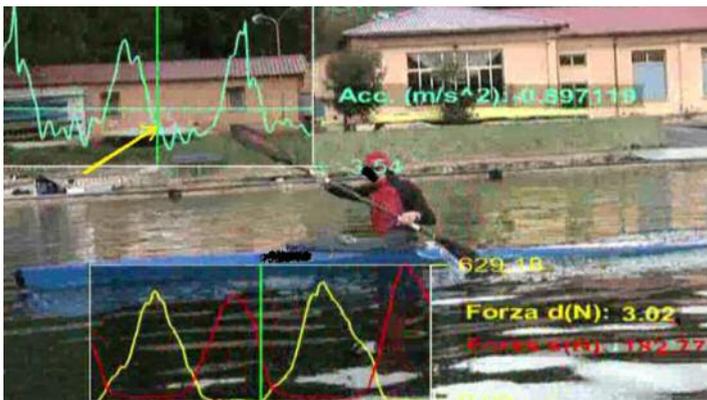


Immagine 7 – Video sincronizzato con grafico di accelerazione longitudinale e forze esercitate sul puntapiedi, durante la fase di estrazione dell'atleta A3-M, 1° prova. Si nota una evidente decelerazione della canoa (-0.89 m/s^2) e una ulteriore riduzione della spinta del piede corrispondente (182.77 N).

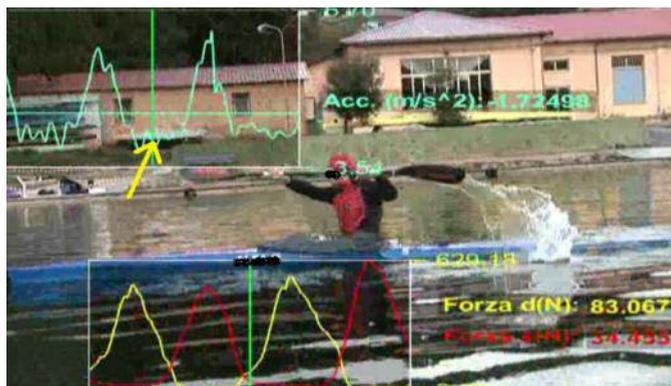


Immagine 8 – Video sincronizzato con grafico di accelerazione longitudinale e forze esercitate sul puntapiedi, durante la fase aerea dell'atleta A3-M, 1° prova. Pur rimanendo all'interno di una logica decelerazione (-1.72 m/s^2), si nota che in questo attimo, subito successivo all'estrazione, la decelerazione si fa meno evidente, come mostra la gobba del grafico (freccia gialla). Ciò può essere interpretato in due modi: come “riduzione del freno” della pala estratta dall'acqua, oppure come piccola spinta generata dal cambio di lato di pagaiata. Inoltre in questa fase, notiamo l'inizio del cambio di spinta fra piede sinistro (34.45 N) e piede destro (83.06 N).

1.10. Punto di massima accelerazione longitudinale

Tale punto rappresenta l'istante in cui l'atleta ha impresso la maggior accelerazione al kayak ed è stato utilizzato per riuscire a sincronizzare ogni singolo colpo e allo scopo di poter collegare tra loro diversi fenomeni, e più precisamente:

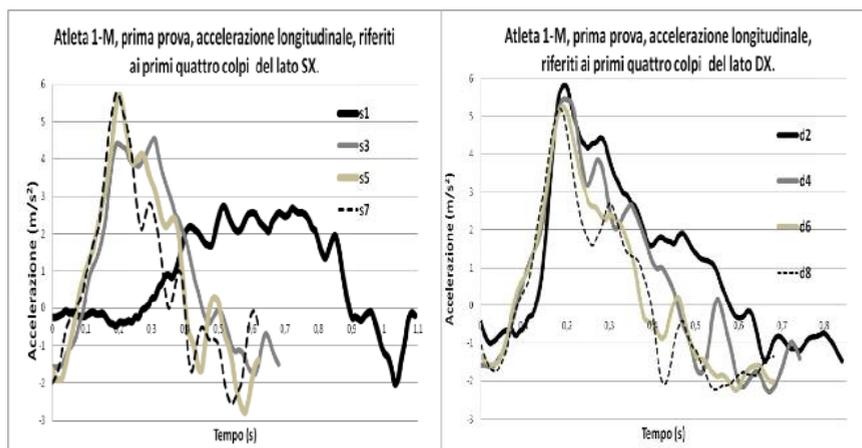
- I dati relativi ad ogni singola prova;
- Individuare eventuali asimmetrie tra un lato e l'altro di pagaiata;
- Mettere in correlazione le quattro prove svolte da ogni atleta;
- Mettere in evidenza eventuali caratteristiche

simili tra un atleta e l'altro.

1.11. La partenza “fase transitoria”

Prima di confrontare tra loro i dati delle prove sono stati eliminati quelli attinenti alle fasi transitorie e cioè quelle riguardanti la partenza. I motivi determinanti sono i seguenti:

- I tempi di durata della pagaiata durante l'avvio dell'imbarcazione sono differenti da tutti gli altri colpi;
- Le accelerazioni longitudinali sono nei primi colpi meno elevate di tutti gli altri colpi del percorso lanciato (grafici 2-3);



Grafici 2-3. Atleta 1 maschio, prima prova, accelerazione longitudinale, primi quattro colpi lato sinistro e destro.



- Anche gli angoli di assetto: imbardata, beccheggio, rollio, differiscono dalla media degli altri cicli di pagaiata. La fase di partenza in base ai dati acquisiti

in questo lavoro sembrerebbe durare fino all'ottavo colpo, infatti dal nono colpo i fenomeni transitori non sembrano più evidenti.

2. ANALISI DEI DATI

2.1. Individuazione delle caratteristiche fondamentali della pagaiata e dei valori di forze e accelerazioni riferiti a canoisti di alto livello.

Dall'analisi dei dati sono stati rilevati dei valori riferiti: alle accelerazioni, alle oscillazioni del kayak e delle forze espresse sulla pedaliera.

Lo scopo di questo capitolo è quello di rappresentare in modo dettagliato tali valori, per poter dare un utile contributo alla comprensione di

alcuni fenomeni fisici che adesso, grazie alla strumentazione a nostra disposizione, è possibile quantificare.

Per quanto il numero degli atleti e delle prove svolte non sia sufficientemente adeguato a poter definire in modo statisticamente valido tali dati, si ritiene comunque utile descrivere quali siano i valori di riferimento in atleti di alto livello.

Nella tabella seguente sono rappresentati i dati più rilevanti ricavati dall'analisi cinematica e strumentale.

ATLETA	A1 -M				A2-M		A3-M	A1-F
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	1 prova	4 prova	1 prova	4 prova
Distanza metri	150	150	150	150	150	150	150	150
Tempo in secondi (s)	37,20	36,00	34,60	32,08	35,60	31,15	39,40	33,46
Colpi totali	53	58	59	62	54	66	54	65
Frequenza di pagaiata al minuto*	85*	96*	102*	116*	91	127	82	116
Media s/colpi	0,70	0,62	0,59	0,52	0,66	0,47	0,73	0,51
Velocità (m/s)*	4,03*	4,16*	4,33*	4,67*	4,21	4,81	3,80	4,48
Fase in Aria (s)	0,24	0,25	0,19	0,17	0,23	0,17	0,30	0,16
Fase in Acqua (s)*	0,46*	0,37*	0,40*	0,35*	0,43	0,30	0,43	0,35
Fase Positiva della pagaiata (s)*	0,26*	0,27*	0,26*	0,22*	0,27	0,22	0,28	0,24
Media Punto ACC. Longit. Max (m/s ²)*	4,68*	4,80*	5,35*	5,21*	4,18	4,8	4,4	5,4
Media Punto ACC. Laterale. Max (m/s ²)	2,5	2,2	2,4	3,1	2	1,5	2,8	3,0
Media Punto ACC. verticale. Max (m/s ²)	2,5	2,3	2,4	2,5	1,5	1,8	2	2,1
Rollio (Gradi°)	6	6	7	7	8	10	7	10
Beccheggio (Gradi°)	3	3	3	2,5	3	3	4	3
Forze sulla pedaliera (N)				466	624	589	471	350

Tabella 2 - Dati misurati e calcolati, riferiti ai quattro atleti. I dati relativi alle 4 prove dell'atleta A1-M, risultati tutti validi per l'analisi, hanno permesso la misurazione delle correlazioni positive o negative, fra i vari valori (*). Fra queste riportiamo, in ordine di significatività: $r = 0,99$ (velocità/frequenza pagaiata); $r = -0,88$ (velocità/durata fase positiva); $r = -0,86$ (frequenza pagaiata/durata fase acqua); $r = -0,80$ (frequenza pagaiata/durata fase positiva); $r = 0,78$ (frequenza/max accelerazione longitudinale); $r = -0,77$ (velocità/durata fase acqua); $r = -0,77$ (durata fase acqua/max accelerazione longitudinale); $r = 0,76$ (velocità/max accelerazione longitudinale). Risultano scarsamente correlati: durata fase positiva/max accelerazione longitudinale ($r = -0,47$); durata fase positiva/durata fase acqua ($r = 0,39$).



Nelle tabelle seguenti non sono inseriti i dati relativi all'atleta A1-F, questo per due motivi:

- A1-F è l'unica atleta donna che ha svolto la batteria dei test, e quindi se fosse stata inserita avrebbe falsato i valori della media.
- Al momento dell'effettuazione dei test sottoposti all'atleta A1-F le condizioni del lago non erano ottimali, per cui tali dati avrebbero sicuramente influito in modo non veritiero sulle medie dei valori rilevati.

Osservando la tabella 3, relativa ai dati degli atleti di sesso maschile, si evidenzia che all'aumentare della velocità di esecuzione dei test, quindi della frequenza di pagaiata, il rapporto % passata in acqua/fase aerea, normalmente varia a favore della durata del tempo in acqua. Tali dati concordano con quelli della letteratura scientifica (Colli, Introini, 2004. In: Guazzini e Mori, 2008).

ATLETA	A1-M				A2-M		A3-M	MEDIA
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	1 prova	4 prova	1 prova	
Frequenza di pagaiata al minuto	85	96	102	116	91	127	82	100
Media (s/colpi)	0,70	0,62	0,59	0,52	0,66	0,47	0,73	0,60
Fase in Aria	35%	40%	33%	32%	35%	37%	41%	36%
Fase in Acqua	65%	60%	67%	68%	65%	63%	59%	64%

Tabella 3 - Dati riferiti alla misurazione cinematica e accelerometrica degli atleti di sesso maschile e relativa al rapporto passata in acqua/fase aerea.

Osservando invece il rapporto tra la fase positiva della pagaiata misurata con l'accelerometro e la durata del colpo misurata cinematicamente (tabella 4) evidenziamo che,

alla frequenza media delle prove, di 100 colpi al minuto, solo il 42% del ciclo di pagaiata ha un fase positiva sull'accelerazione della canoa.

ATLETA	A1-M				A2-M		A3-M	MEDIA
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	1 prova	4 prova	1 prova	
Frequenza di pagaiata al minuto	85	96	102	116	91	127	82	100
Media (s/colpi)	0,70	0,62	0,59	0,52	0,66	0,47	0,73	0,60
Fase Positiva della pagaiata	38%	45%	47%	42%	41%	45%	38%	42%

Tabella 4 - Dati riferiti alla misurazione cinematica e accelerometrica degli atleti di sesso maschile e relativa al rapporto tra durata del colpo e la fase positiva della passata.

Ancora più interessante risulta essere la misurazione della fase positiva (misurata con l'accelerometro) rispetto alla durata della passata in acqua. Il dato medio (tabella 5) ottenuto ad

una frequenza di 100 colpi al minuto indica un valore del 68%, questo ci aiuta a comprendere che il 32% della passata in acqua viene disperso nella fase di attacco e svincolo.

ATLETA	A1-M				A2-M		A3-M	MEDIA
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	1 prova	4 prova	1 prova	
Frequenza di pagaiata al minuto	85	96	102	116	91	127	82	100
Fase in Acqua (s)	0,46	0,37	0,40	0,35	0,43	0,30	0,43	0,39
Fase Positiva della pagaiata	59%	75%	75%	64%	64%	73%	66%	68%

Tabella 5 - Dati riferiti alla misurazione cinematica e accelerometrica degli atleti di sesso maschile e relativa al rapporto tra la passata in acqua e la fase positiva della passata.



Nella tabella 6 è evidenziata la crescita del valore del punto di massima accelerazione longitudinale in relazione con la velocità di svolgimento della prova.

Nel caso dell'atleta A1-M tale valore viene incrementato fino ad una frequenza di 102 colpi al minuto, nella quarta prova infatti l'atleta, per migliorare la propria prestazione

cronometrica (evidenziato in rosso 4,67 m/s), oltre a mantenere quasi inalterato tale valore (5,21 m/s²), è costretto ad aumentare la frequenza di pagaiata evidenziata in blu (116 colpi al minuto), derivante da un aumento di rapidità del colpo in acqua e da una diminuzione della fase aerea, dove risulta esserci sempre perdita di velocità.

ATLETA	A1-M				A2-M		A3-M	MEDIA
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	1 prova	4 prova	1 prova	
Velocità (m/s)	4,03	4,16	4,33	4,67	4,21	4,81	3,80	4,29
Frequenza di pagaiata al minuto	85	96	102	116	91	127	82	100
Media Punto ACC. Longit. Max (m/s ²)	4,68	4,80	5,35	5,21	4,18	4,80	4,40	4,77

Tabella 6 - Dati riferiti alla misurazione cinematica e accelerometrica degli atleti di sesso maschile e relativa al rapporto tra la velocità di esecuzione della prova e il punto di massima accelerazione longitudinale.

2.2. Relazione esistente tra la velocità di avanzamento della canoa ad ogni singolo colpo e la velocità del kayak

La lunghezza del colpo efficace è definibile come “parte del colpo in grado di produrre propulsione quindi accelerazione della canoa”.

La lunghezza efficace del colpo è inevitabilmente più breve dell'intera passata perché non comprende due momenti: la messa in pressione della pala, e lo svincolo, che deve essere veloce (non ritardato) per non creare resistenze di attrito e vortice.

Sono stati utilizzati solo alcuni Test, quelli svolti ad un'intensità più elevata, questo perché più vicini al gesto specifico della gara, sono stati analizzati solamente i lati di pagaiata ripresi dalla telecamera in modo da poter rilevare in modo accurato la lunghezza e il tempo della permanenza della passata in acqua.

Di seguito riportiamo in modo esaustivo l'analisi dei dati riferiti a due prove svolte dall'atleta A1-M, e in modo sintetico una sola prova per gli altri tre atleti.

2.3. Analisi dei dati riferiti all'atleta A1-M, quarta prova

L'atleta ha realizzato il test ad una frequenza di pagaiata di 116 colpi al minuto. Sono stati suddivisi i colpi in due tabelle, nella prima tabella sono stati inseriti i dieci colpi più efficaci, cioè associati all'avanzamento più veloce, nella seconda quelli meno efficaci, cioè associati all'avanzamento più lento. In ogni tabella è riportata:

- Nella prima riga il numero del colpo a cui si riferisce la misurazione;
- Nella seconda riga la durata della passata in acqua, sempre misurata in modo cinematico;
- Nella terza riga la lunghezza della passata in acqua (avanzamento della canoa rispetto alla pagaia) misurata in modo cinematico;
- Nella quarta riga la velocità dell'avanzamento della canoa, durante la passata in acqua;
- Nell'ultima colonna sono rappresentate le medie dei dieci colpi presi in considerazione.

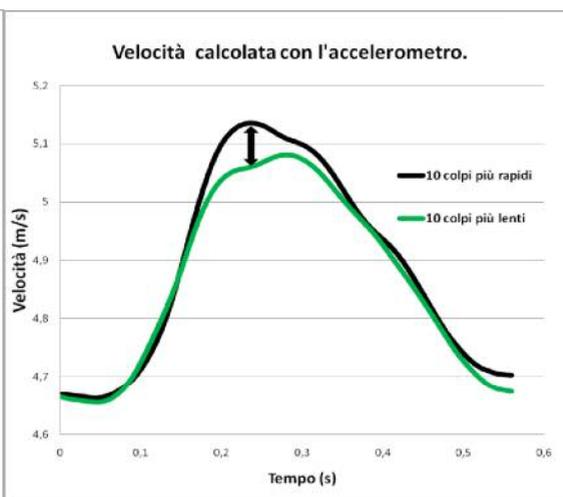
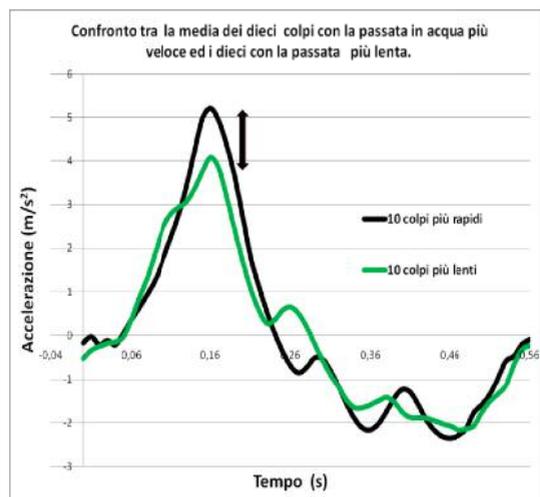


A1-M, Quarta Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più veloce											
Colpo N°	34	32	44	36	20	40	48	56	14	46	Media
passata in acqua (s)	0,30	0,29	0,30	0,32	0,33	0,33	0,31	0,32	0,30	0,30	0,31
passata in acqua (m)	1,45	1,28	1,32	1,4	1,41	1,41	1,32	1,34	1,25	1,24	1,34
vel.avanz.canoa(m/s)	4,83	4,41	4,40	4,38	4,27	4,27	4,26	4,19	4,17	4,13	4,33
A1-M, Quarta Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più lento											
Colpo N°	18	22	50	58	16	24	26	52	30	28	Media
passata in acqua (s)	0,32	0,31	0,34	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,33	0,35	0,33
passata in acqua (m)	1,29	1,24	1,35	1,26	1,28	1,31	1,29	1,29	1,19	1,15	1,27
vel.avanz.canoa(m/s)	4,03	4,00	3,97	3,94	3,88	3,85	3,79	3,79	3,61	3,29	3,82

Tabelle 7-8. Dati ricavati dall'analisi cinematica dei dieci colpi associati all'avanzamento della canoa più veloce e quelli associati all'avanzamento più lento.

La differenza tra il valore medio riscontrato nelle tabelle 7 e 8 è evidente. In modo particolare la velocità di avanzamento della canoa durante i dieci colpi meno efficaci, è 3,82 m/s, valore inferiore del 12% rispetto alla media dei valori riferiti ai dieci colpi,

più efficaci, che risulta essere di 4,33 m/s. E' stato verificato se ci fosse una relazione tra la velocità dell'avanzamento della canoa, durante la passata in acqua, rilevata cinematicamente e i dati ricavati dall'accelerometro.



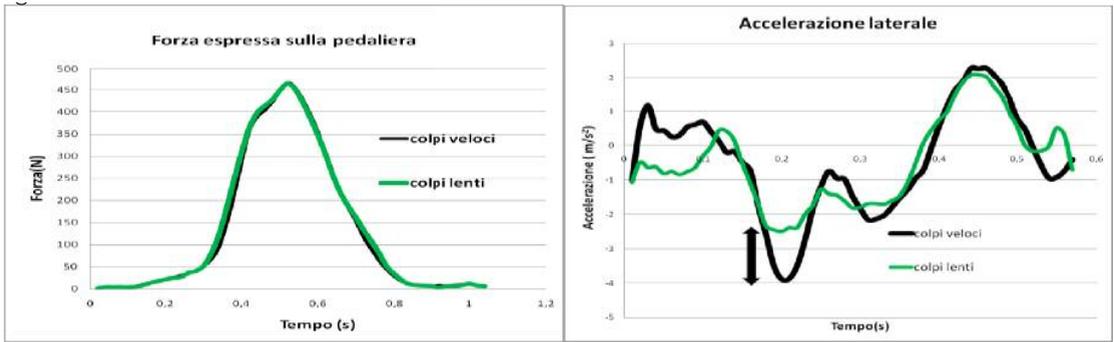
Grafici 4-5. A1-M, quarta prova, accelerazione longitudinale e velocità calcolata con l'accelerometro, ciclo di pagaia del lato destro, confronto tra le medie dei dieci colpi più efficaci ed i dieci colpi meno efficaci.

Nei dieci colpi più efficaci (grafico 4), il punto di massima accelerazione è 5,20 m/s², mentre nei meno efficaci è di 4,08 m/s², tale differenza risulta essere del 21%.

Per meglio comprendere quanto tali accelerazioni siano correlate con la velocità del kayak è utile osservare il grafico 5, la velocità dell'imbarcazione è simile fino a 0,19 secondi

dopo l'attacco, che corrisponde al punto medio di massima accelerazione longitudinale, dopo circa 0,35 secondi, (fase aerea), il decremento della velocità è analogo.

E' stato verificato se ci fosse una correlazione tra la velocità e la forza espressa sulla pedaliera (grafico 6), e le accelerazioni laterali del kayak (grafico 7).



Grafici 6-7. A1-M, quarta prova, forze espresse sulla pedaliera e accelerazioni laterali confronto tra le medie dei dieci colpi più efficaci e i dieci meno efficaci, del lato destro di pagaiata.

In questo caso sembrerebbe che non esista nessuna correlazione tra l'accelerazione longitudinale del kayak e la forza espressa sulla pedaliera (grafico 6).

Interessante sembra essere piuttosto, la maggiore accelerazione laterale (grafico 7), nei colpi più efficaci, in coincidenza con il punto di massima accelerazione longitudinale (circa 0,19 s), si verifica quasi un valore doppio di accelerazione laterale (vedere freccia nera grafico 7).

2.4. Seconda prova, atleta A1-M

In questa prova in cui sono stati rilevati i colpi del lato sinistro, l'atleta A1-M ha realizzato il test ad una frequenza di pagaiata inferiore e più precisamente a 96 colpi al minuto.

A questa frequenza di pagaiata sembrerebbe esistere una minore discrepanza tra i colpi più

efficaci e quelli meno efficaci.

La differenza tra i colpi più efficaci e quelli meno efficaci, risulta essere solamente del 6%.

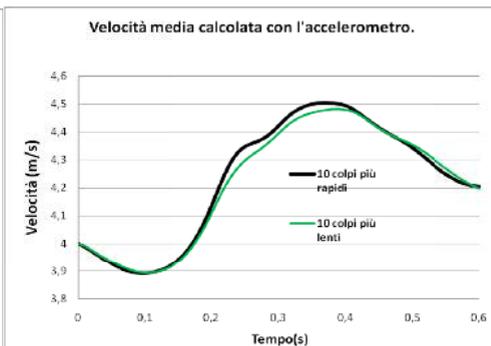
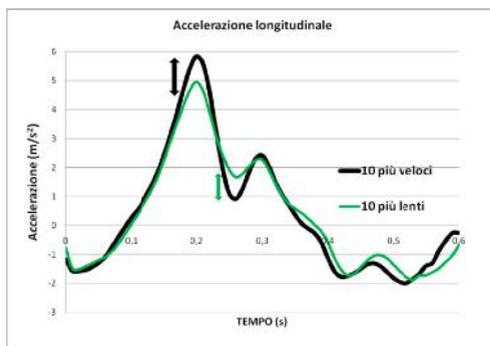
Nei grafici 8 e 9, sono riportati i valori medi delle accelerazioni longitudinali (grafico 8), e le relative velocità ricavate (grafico 9).

Potrebbe sembrare che i dieci colpi più efficaci (grafico 8) siano nettamente migliori rispetto alle medie dei dieci colpi meno efficaci (vedere freccia nera grafico 8). Infatti il punto di massima accelerazione longitudinale dei dieci colpi più efficaci è $5,83 \text{ m/s}^2$, mentre negli altri è $4,94 \text{ m/sec}^2$; la differenza risulta essere del 28%.

In realtà non è così, perché ad un certo punto della fase di accelerazione (vedere freccia verde), in corrispondenza della fase centrale della passata in acqua (0,28 s), si osserva che il kayak ha un'accelerazione minore.

A1-M, Seconda Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più veloce											
Colpo N°	21	53	15	13	33	19	59	17	27	23	Media
passata in acqua (s)	0,34	0,37	0,34	0,35	0,36	0,35	0,37	0,34	0,36	0,34	0,35
passata in acqua (m)	1,46	1,58	1,44	1,48	1,52	1,47	1,55	1,41	1,48	1,39	1,48
vel.avanz.canoa(m/s)	4,29	4,27	4,24	4,23	4,22	4,20	4,19	4,15	4,11	4,09	4,20
A1-M, Seconda Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più lento											
Colpo N°	41	47	25	49	11	35	57	37	51	31	Media
passata in acqua (s)	0,36	0,36	0,36	0,37	0,35	0,37	0,38	0,37	0,37	0,34	0,36
passata in acqua (m)	1,46	1,45	1,45	1,49	1,40	1,48	1,49	1,45	1,43	1,26	1,44
vel.avanz.canoa(m/s)	4,06	4,03	4,03	4,03	4,00	4,00	3,92	3,92	3,86	3,71	3,95

Tabelle 9-10. A1-M, seconda prova, dati ricavati dall'analisi cinematica dei dieci colpi associati all'avanzamento della canoa più veloce e quelli associati all'avanzamento più lento.



Grafici 8-9. Al M, seconda prova, accelerazioni longitudinali, lato di pagaiata sinistra e velocità calcolate.

Per comprendere meglio quanto questo influenzi la velocità è riportato il grafico 9 delle velocità medie calcolate con l'accelerometro, in effetti la differenza di velocità è minima.

Le accelerazioni laterali sembrerebbero (grafico 10) non avere grosse differenze tra loro; si rileva, nei colpi più efficaci, una piccola

variazione di accelerazione.

Notiamo come tali accelerazioni (grafico 10 - valore max $2,7 \text{ m/s}^2$), non sono così evidenti come nella prova numero quattro (grafico 7 - valore max $3,9 \text{ m/s}^2$), questo potrebbe essere determinato da una velocità inferiore del kayak derivante da un tipo di pagaiata più scomposta.

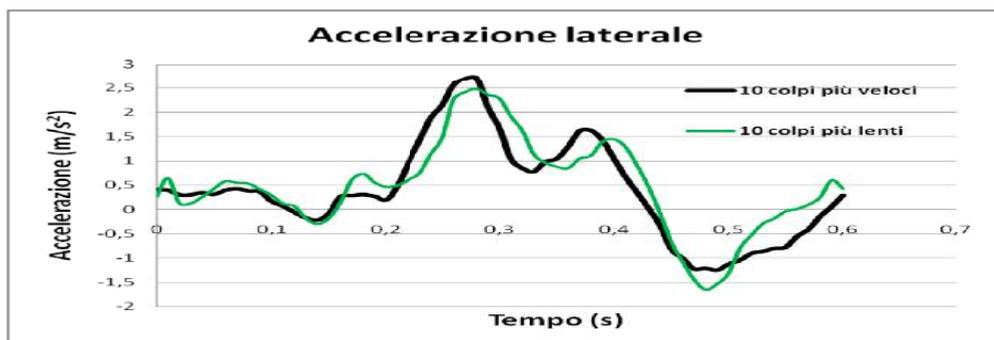


Grafico 10 - Al-M, seconda prova, accelerazioni laterali, confronto tra le medie dei dieci colpi più efficaci e quelli meno efficaci.

2.5. Analisi dei dati riferiti all'atleta A2-M, quarta prova.

L'atleta ha realizzato il test ad una frequenza di pagaiata di 127 colpi al minuto, la differenza fra la velocità di avanzamento dei dieci colpi più efficaci e quelli meno è del 8% e cioè $4,45 \text{ m/s}$, contro $4,13 \text{ m/s}$.

Tale differenza pur non essendo elevata genera invece una grande disuguaglianza per ciò che riguarda le accelerazioni longi-

tudinali (grafico 11 freccia nera), la differenza tra le due accelerazioni è notevole, pari al 23%, il punto di massima accelerazione longitudinale riferito ai dieci colpi più efficaci è di $5,45 \text{ m/s}^2$ e quelli meno efficaci è di $4,39 \text{ m/s}^2$ e tale differenza fa scaturire una notevole differenza di velocità (grafico 12).

Analizzando la forza espressa sulla pedaliera (grafico 13) le differenze sono solo del 6%; 621 N per i più efficaci, contro 582 N , per i

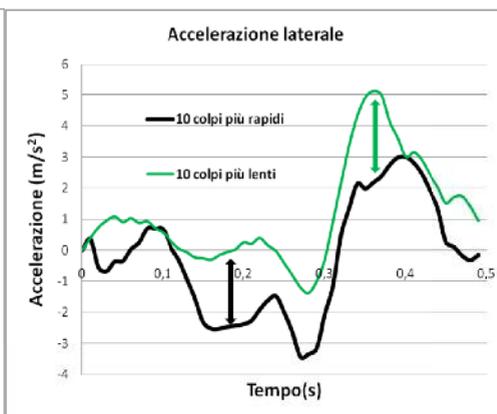
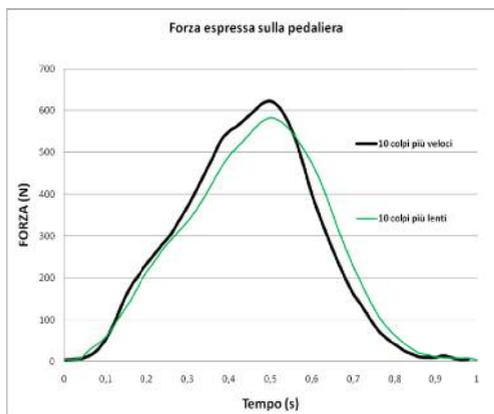
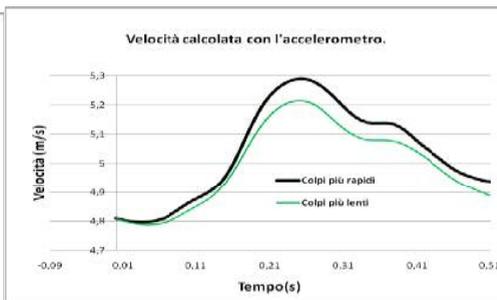
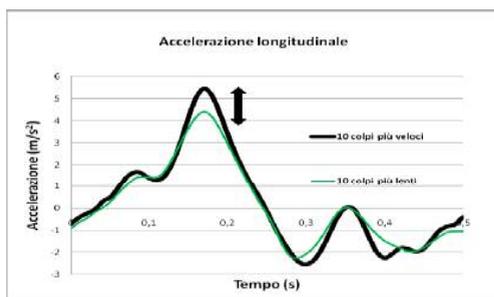
A2-M, Quarta Prova i 10 colpi associati all'avanzamento più veloce											
Colpo N°	18	14	42	36	22	32	10	26	38	16	Media
passata in acqua (s)	0,27	0,26	0,29	0,29	0,27	0,27	0,27	0,28	0,30	0,26	0,28
passata in acqua (m)	1,32	1,16	1,29	1,29	1,19	1,19	1,19	1,23	1,30	1,12	1,23
vel.avanz.canoa(m/s)	4,89	4,46	4,45	4,45	4,41	4,41	4,41	4,39	4,33	4,31	4,45
A2-M, Quarta Prova i 10 colpi associati all'avanzamento più lento											
Colpo N°	60	62	24	34	54	56	58	50	46	20	Media
passata in acqua (s)	0,29	0,29	0,28	0,29	0,30	0,29	0,29	0,30	0,30	0,29	0,29
passata in acqua (m)	1,23	1,23	1,18	1,22	1,26	1,19	1,19	1,23	1,21	1,13	1,21
vel.avanz.canoa(m/s)	4,24	4,24	4,21	4,21	4,20	4,10	4,10	4,10	4,03	3,90	4,13

Tablelle 11-12. A2-M, quarta prova, dati ricavati dall'analisi cinematica dei dieci colpi associati all'avanzamento della canoa più veloce e quelli associati all'avanzamento più lento.

meno efficaci.

Un apprezzabile discrepanza è osservabile nelle accelerazioni laterali medie (grafico 14), durante la passata in acqua, che dura all'incirca (0,30 s), risultano maggiori le

accelerazioni relative ai dieci colpi più efficaci, (freccia nera) al contrario, durante la fase aerea della pagaiata, le accelerazioni maggiori si evidenziano nei dieci colpi meno efficaci (freccia verde).



Grafici 11-12-13-14. A2-M, quarta prova, ciclo di pagaiata lato destro, confronto tra le medie dei dieci colpi più efficaci ed i dieci colpi meno efficaci, riferiti alle accelerazioni longitudinali, velocità calcolata con l'accelerometro, forze espresse sulla pedaliera e accelerazioni laterali.



2.6. Analisi dei dati riferiti all' atleta A3-M, prima prova.

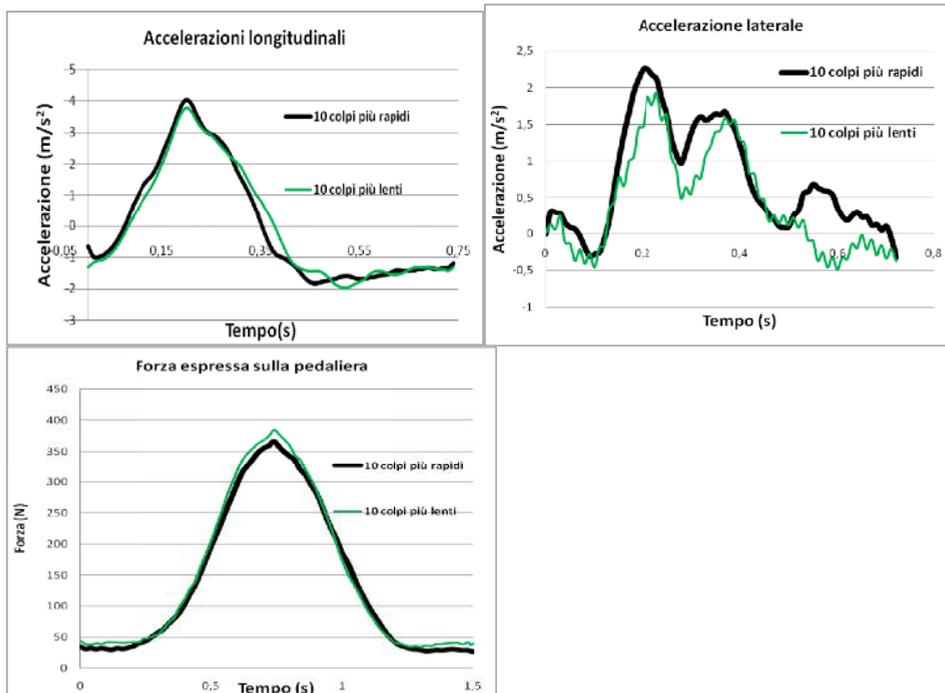
L' atleta A3-M ha effettuato la prima prova ad una frequenza di pagaiata molto bassa, 82 colpi al minuto, molto probabilmente a causa della frequenza non elevata si è registrata una leggera variazione di valori tra i colpi più o meno efficaci.

Dai dati e grafici sotto esposti sembrerebbe

che, ad una frequenza di pagaiata più bassa, le velocità di avanzamento siano tutte simili tra loro, ciò genera delle accelerazioni e angoli di assetto simili in tutti i colpi analizzati, perché, molto probabilmente, a questa frequenza di pagaiata l' atleta ha tutto il tempo per riuscire a trovare la coordinazione e la forza per poter esprimere un colpo efficace. La differenza media di velocità di avanzamento è solo del 5%.

A3-M, Prima Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più veloce											
Colpo N°	11	25	13	47	49	41	45	35	39	21	Media
passata in acqua (s)	0,42	0,40	0,40	0,40	0,38	0,39	0,40	0,42	0,38	0,40	0,40
passata in acqua (m)	1,80	1,68	1,67	1,67	1,58	1,61	1,65	1,73	1,56	1,64	1,66
vel.avanz.canoa(m/s)	4,29	4,20	4,18	4,18	4,16	4,13	4,13	4,12	4,11	4,10	4,16
A3-M, Prima Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più lento											
Colpo N°	33	23	15	53	37	27	31	51	17	19	Media
passata in acqua (s)	0,40	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40	0,43	0,42	0,40	0,42	0,41
passata in acqua (m)	1,63	1,71	1,66	1,65	1,60	1,59	1,69	1,65	1,57	1,50	1,63
vel.avanz.canoa(m/s)	4,08	4,07	4,05	4,02	4,00	3,98	3,93	3,93	3,93	3,57	3,95

Table 13-14. A3-M, prima prova. Dati ricavati dall'analisi cinematica dei dieci colpi associati all'avanzamento della canoa più veloce e quelli associati all'avanzamento più lento. I dieci colpi più efficaci, 4,16 m/s, ed i 10 meno efficaci, 3,95 m/s.



Grafici 15-16-17. A3-M, prima prova, confronto tra le medie dei dieci colpi più efficaci ed i dieci colpi meno efficaci: accelerazione longitudinale, laterale e forze espresse sulla pedaliera riferite al lato destro.



La differenza per ciò che riguarda il punto di massima accelerazione (grafico 15) è del 7% a favore dei colpi più efficaci, 4,16 m/s², contro 3,95 m/s².

Le accelerazioni laterali medie riferite ai dieci colpi più efficaci (grafico 16) evidenziano una piccola ma maggiore accelerazione rispetto ai dieci colpi meno efficaci.

Non esistono grosse differenze neanche per ciò che riguarda la forza espressa sulla pedaliera (grafico 17).

2.7. Analisi dei dati riferiti all'atleta A1-F, quarta prova (donna)

Il Test analizzato (frequenza di pagaiata di

116 colpi al minuto) è stato svolto con vento ed onde a favore, il tempo cronometrato della prova risulta essere molto positivo per una donna a causa del vento favorevole, per questo motivo tale test non può essere utilizzato per verificare eventuali comparazioni con gli altri atleti maschi.

Da un punto di vista strumentale tali condizioni meteo, in particolare le onde, influiscono in modo eccessivo sui fenomeni di accelerazione e decelerazioni del kayak.

La differenza di velocità di avanzamento risulta essere del 10% a favore dei colpi più efficaci 4,47 m/s, contro 4,04 m/s per gli altri. Ne derivano i sottostanti valori rilevati attraverso le strumentazioni.

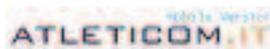
A1-F, Quarta Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più veloce											
Colpo N°	30	40	28	32	36	58	12	50	46	34	Media
passata in acqua (s)	0,30	0,30	0,32	0,32	0,31	0,31	0,32	0,33	0,31	0,32	0,31
passata in acqua (m)	1,43	1,37	1,46	1,46	1,40	1,37	1,40	1,43	1,34	1,38	1,40
vel.avanz.canoa(m/s)	4,77	4,57	4,56	4,56	4,52	4,42	4,38	4,33	4,32	4,31	4,47
A1-F, Quarta Prova											
i 10 colpi associati all'avanzamento più lento											
Colpo N°	22	62	42	54	44	56	20	52	14	60	Media
passata in acqua (s)	0,32	0,32	0,33	0,34	0,32	0,31	0,34	0,34	0,32	0,35	0,33
passata in acqua (m)	1,34	1,32	1,36	1,40	1,31	1,26	1,38	1,34	1,26	1,33	1,33
vel.avanz.canoa(m/s)	4,19	4,13	4,12	4,12	4,09	4,06	4,06	3,94	3,94	3,80	4,04

Tabella 15-16. A1-F, quarta prova. Dati ricavati dall'analisi cinematica dei dieci colpi associati all'avanzamento della canoa più veloce e quelli associati all'avanzamento più lento.



Insieme per Vincere

Sponsor Ufficiali FICK



www.federcanoa.it





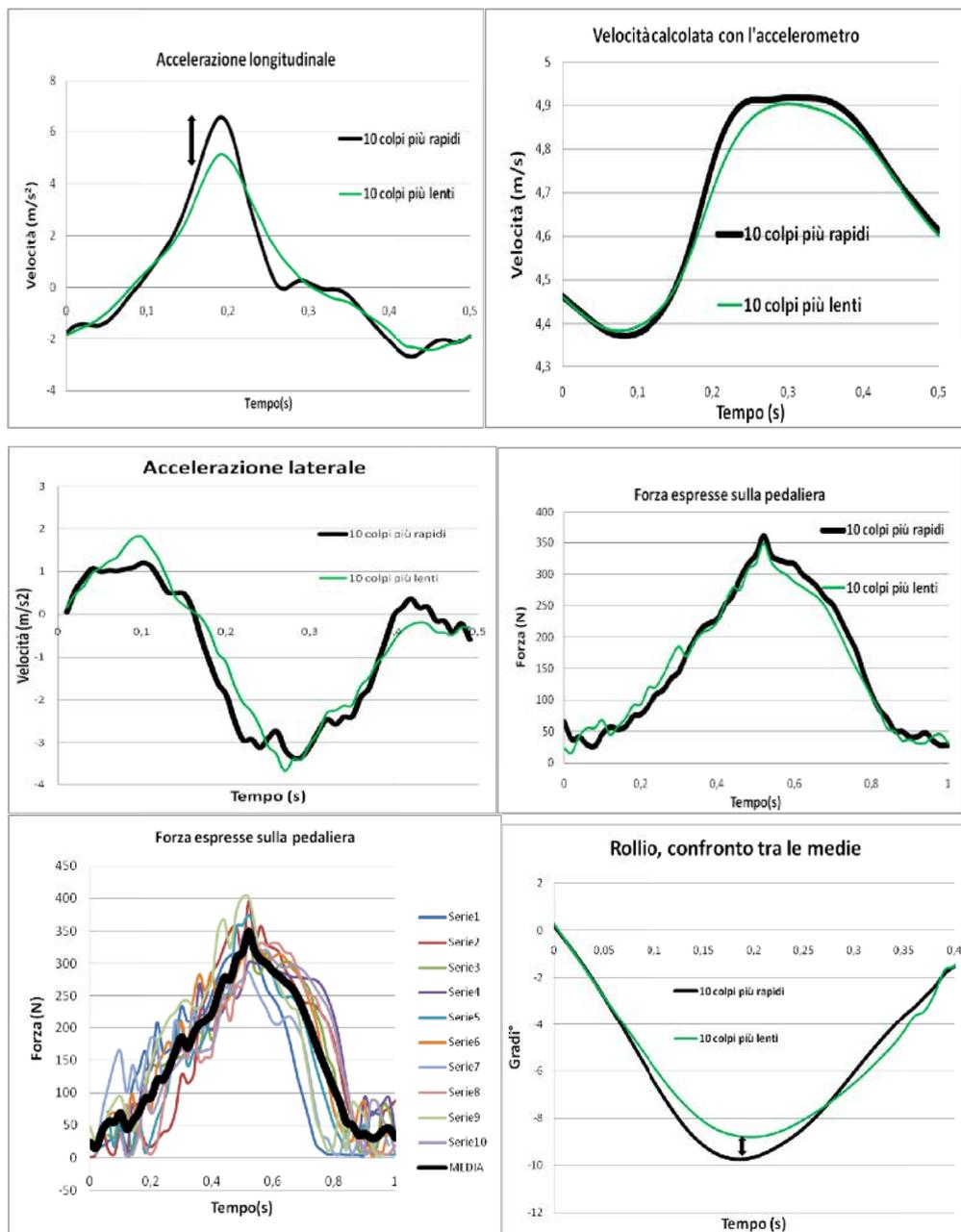
Insieme per Vincere

Sponsor Ufficiali FICK



www.federcanoa.it





Grafici 18-19-20-21-22-23. A1-F, quarta prova, lato destro, confronto tra le medie dei dieci colpi più efficaci ed i dieci colpi meno efficaci: accelerazione longitudinale, velocità calcolata con l'accelerometro, accelerazione verticale, forze espresse sulla pedaliera, rollio.



Il punto di massima accelerazione longitudinale (grafico 18) è più elevato nei colpi più efficaci, con $6,56 \text{ m/s}^2$, contro $5,11 \text{ m/s}^2$ degli altri, la differenza è del 28% (freccia nera grafico 18). Tali valori risultano essere molto elevati, le velocità calcolate (grafico 19) risultano essere superiori durante l'esecuzione dei colpi più efficaci.

Non esistono differenze significative per ciò che riguarda la pressione esercitata sulla pedaliera (grafico 21), è da osservare che tali medie sono generate da forze espresse in modo non costante e fluido (grafico 22), tale dato risulta anomalo se comparato con quello degli altri atleti di sesso maschile.

L'accelerazione laterale (grafico 20) differisce dagli altri atleti uomini, in modo particolare si osserva un picco di massima accelerazione di $3,5 \text{ m/s}^2$, tale accelerazione laterale risulta essere continua per tutta la passata in acqua.

Per ciò che riguarda il rollio si evidenzia una differenza di un grado (grafico 23 freccia nera) a vantaggio dei colpi più efficaci, l'inclinazione massima risulta essere di 10° , questo valore è molto più elevato dei valori medi fatti registrare dagli atleti uomini, sarebbe opportuno poter valutare se in questa atleta il rollio così accentuato è determinato dalle presenza di onde oppure da una caratteristica tecnica.

2.8. Prime considerazioni sull'analisi qualitativa delle prove valutate

- In ogni prova valutata cinematicamente la differenza di velocità di avanzamento, relativa alla media dei dieci colpi più efficaci, risulta essere maggiore dal 5% al 12% rispetto ai dieci colpi meno efficaci;
- In tutti i test analizzati è stato osservato che, tutti i colpi più efficaci hanno avuto un punto di massima accelerazione longitudinale medio superiore ai colpi meno efficaci, e tale differenza è stata in quattro

casi su cinque superiore al 20%;

- Tale differenza sembrerebbe inferiore nelle prove dove la frequenza di pagaiata è stata più bassa, molto probabilmente perché ad una frequenza minore, l'atleta ha tutto il tempo per riuscire a trovare la coordinazione e la forza per poter esprimere un colpo efficace;
- La velocità calcolata con l'accelerometro dei dieci colpi più efficaci è sempre stata maggiore della media dei colpi meno efficaci;
- Per quanto riguarda le forze espresse sulla pedaliera sembrerebbe che non vi siano differenze significative;
- L'accelerazione laterale è maggiore nei dieci colpi più efficaci;
- Dall'analisi della velocità di avanzamento, emerge che i colpi più efficaci, cioè che fanno avanzare di più la canoa, sono generalmente fra i più rapidi e anche fra i più lunghi come lunghezza di passata in acqua. Anche se questi dati rinforzano la "teoria del colpo lungo e rapido", sappiamo però che esistono altri parametri della pagaiata, che concorrono a migliorare l'efficacia ed in particolare quelli biomeccanici riferiti alle traiettorie di lavoro delle mani (braccia) del canoista e ai relativi angoli di lavoro della pagaia sul piano sia frontale che sagittale (Guazzini e Mori, 2008).

2.9. Simmetria tra un lato e l'altro di pagaiata. Relazione esistente tra i fenomeni di accelerazione oscillazione del kayak e le forze espresse sulla pedaliera.

Il canoista durante il moto del kayak è costantemente impegnato a correggere le traiettorie, non solo con l'utilizzo del timone, che funge anche da deriva, ma anche per mezzo di altri accorgimenti tecnici. Gli accorgimenti tecnici sono:

- pagaia inserita o estratta dall'acqua più o



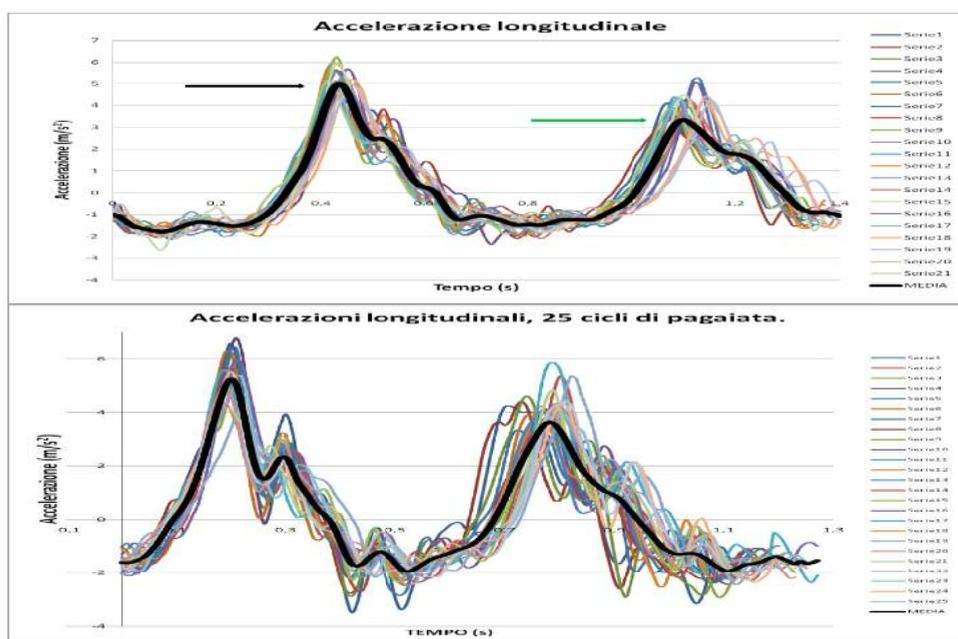
meno lateralmente;
- rollio dell'imbarcazione, chiamato tecnicamente "dare pancia all'imbarcazione"; tale movimento consente alla canoa di variare la direzione dell'imbarcazione inclinando la canoa lateralmente verso il lato opposto. Nel sistema Pagaia-Atleta-Kayak tutte queste correzioni determinano delle forze resistenti che generano quindi degli attriti. I cambi di direzione sono dovuti, come prima causa, ad una non corretta simmetria tra un lato e l'altro di pagaiata, oppure ad una cattiva

postura del canoista, che inclinandosi più o meno da un lato, tende a far cambiare direzione al kayak.

Lo scopo di questa analisi è verificare quanto, queste asimmetrie, siano correlate con altri fenomeni di accelerazioni e assetto dell'imbarcazione.

2.10. Analisi dei dati riferiti all'atleta A1-M

Sono rappresentati due grafici accelerometrici riferiti a due prove svolte dall'atleta ad intensità crescente.



Grafici 24-25. A1-M, prima e seconda prova, accelerazioni longitudinali riferite all'insieme di tutti i cicli di pagaiata del percorso lanciato.

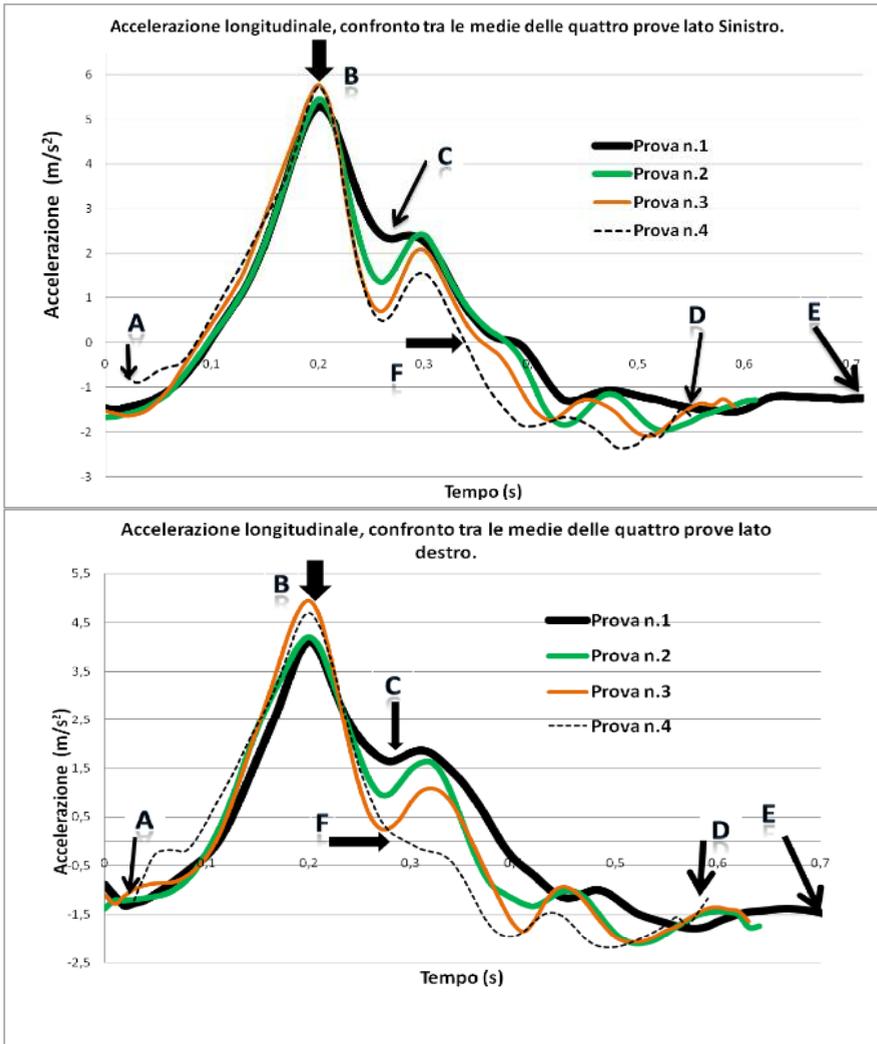
Fin da una prima osservazione dei grafici 24 e 25 risulta evidente che l'atleta in esame ha una notevole differenza di accelerazione longitudinale tra il lato sinistro di pagaiata (freccia nera) e quello destro (freccia verde).

Osservando i grafici delle medie delle accelerazioni longitudinali di tutte e quattro le prove svolte ad intensità crescente, relative al lato sinistro (grafico 26) e destro (grafico 27) notiamo che:

Le medie delle accelerazioni longitudinali

(grafici 26-27) sembrerebbero evidenziare che l'atleta A1-M durante le quattro prove ad intensità crescente mantenga inalterate le proprie caratteristiche tecniche, più precisamente:

- Aumento dell'accelerazione in circa 0,20 secondi fino al punto di massima accelerazione longitudinale (freccia B grafico 26-27). Durante la passata a sinistra (grafico 26 freccia B) tale punto raggiunge in tutte e quattro le prove un valore di circa $5,5\text{m/s}^2$, a destra (grafico 27 freccia B) tale



Grafici 26-27. Al-M, confronto tra le medie di tutte e quattro le prove delle accelerazioni longitudinali, dei colpi a sinistra e destra riferiti al percorso lanciato.

- punto massimo di accelerazione è molto inferiore ed è circa $4,5 \text{ m/s}^2$;
- Un decremento di accelerazione longitudinale per circa 5 centesimi di secondo, tale decremento di accelerazione è maggiore nelle prove svolte ad intensità più elevata (grafico 26 linea tratteggiata), tale prova corrisponde alla quarta prova svolta ad una frequenza superiore alle altre (prova n.4 frequenza 116 colpi al minuto);
- Si evidenzia in tutte le prove una zona, relativa alla parte finale della passata in acqua (grafico 26 e 27), in cui si verifica un'accelerazione positiva. Tale ulteriore incremento di accelerazione longitudinale dura in media dieci centesimi di secondo, ed è più evidente nelle medie relative alle prove svolte ad intensità meno elevate;
- Con l'aumentare della frequenza notiamo come la passata in acqua, misurata cinematicamente, diminuisca di durata; tale diminuzione è evidenziata anche dai dati rilevati con l'accelerometro, osservando la linea tratteggiata dei grafici 26-27 relativa



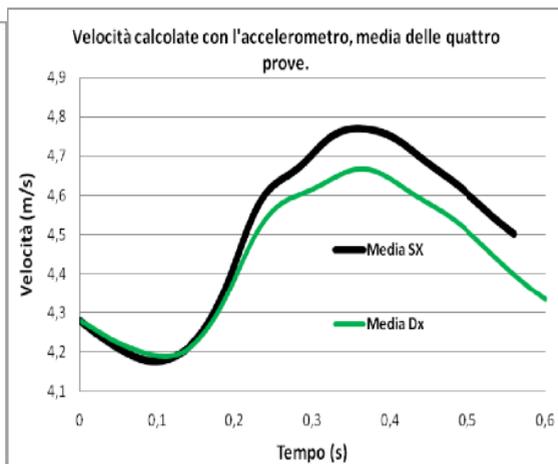
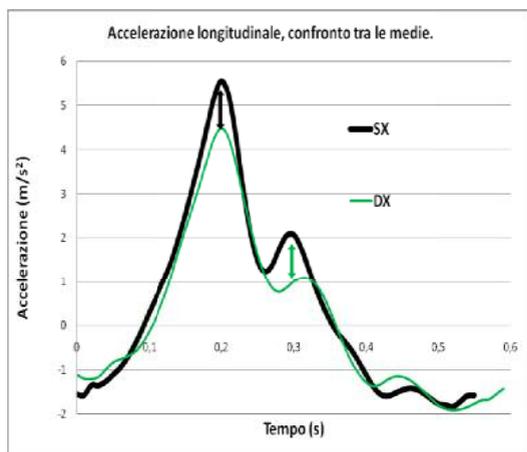
alla quarta prova, si nota come questa abbia inizio circa 0,03 s, dopo le altre (freccia A) ed un'estremità molto più ridotta (freccia D);

- Viceversa la linea nera relativa alla prima prova (grafico 26e 27) ha una durata molto più lunga (freccia E);
- La fase positiva diminuisce di durata con l'aumentare della frequenza di pagaiata, osservando i grafici notiamo infatti che le prove svolte ad una frequenza di pagaiata più elevata (linea tratteggiata freccia F) hanno una fase positiva di accelerazione minore rispetto alle prove svolte ad una frequenza più bassa (esempio linea nera 85 colpi al minuto);

Quest'ultima osservazione chiarisce ancor di più che, a parità di picco massimo di accelerazione è fondamentale una buona frequenza di pagaiata, con una relativa fase aerea più breve, per limitare l'effetto della decelerazione caratteristico di questa fase.

Visualizzando il grafico 28, riferito al confronto tra le medie delle accelerazioni longitudinali delle quattro prove, osserviamo una netta differenza tra il lato sinistro ed il lato destro di pagaiata.

Il punto di massima accelerazione longitudinale medio riferito ai colpi a sinistra è 5,55 m/s^2 , la media dei colpi a destra è 4,49 m/s^2 , la loro differenza è del 23% (freccia nera).



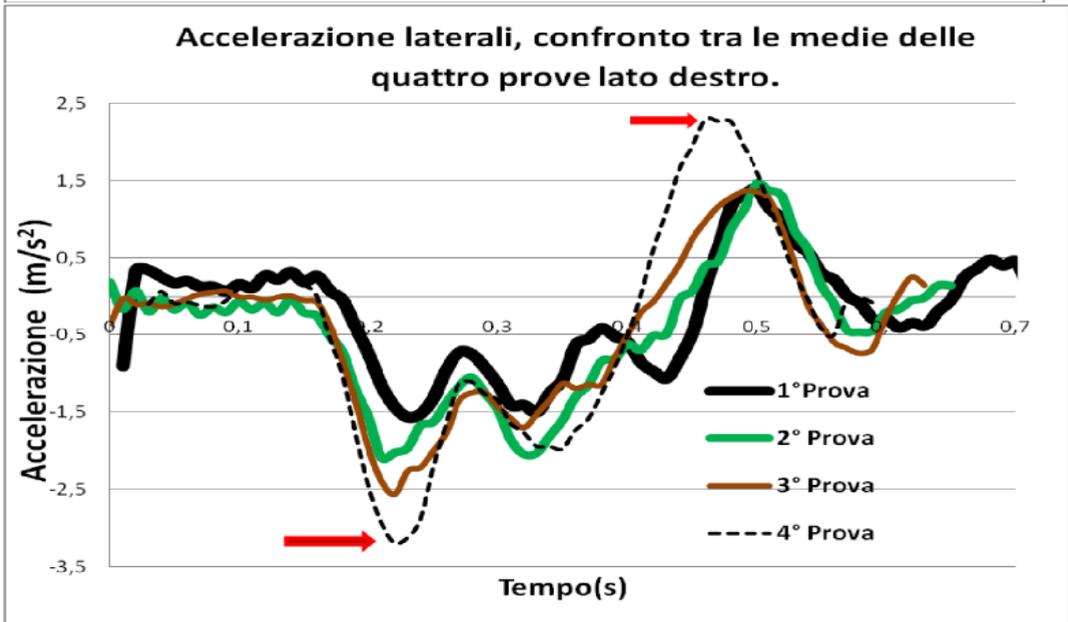
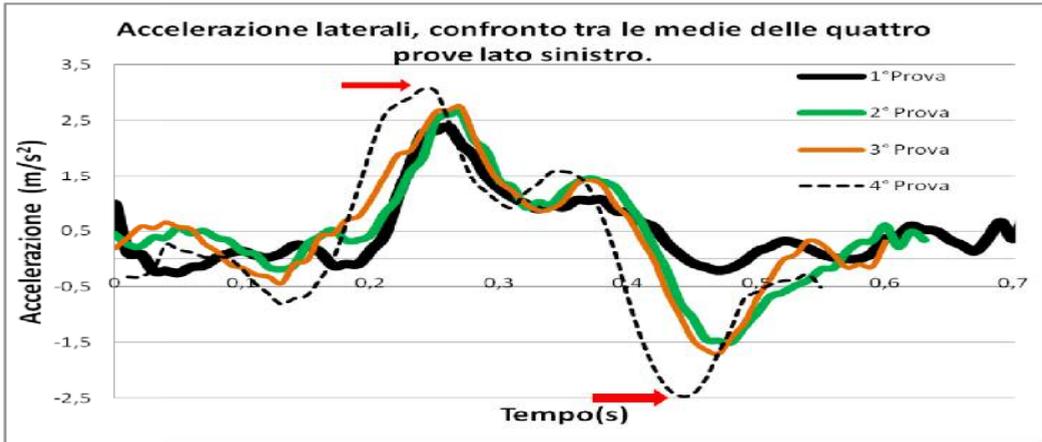
Grafici 28-29. A1-M, confronto tra le medie di tutte e quattro le prove delle accelerazioni longitudinali e della velocità calcolata con l'accelerometro dei colpi a destra e sinistra, riferiti al percorso lanciato.

Osservando il grafico 28, notiamo come la differenza di accelerazione non è determinata solamente dal punto di massima accelerazione (freccia nera) ma da un'ulteriore zona di accelerazione che risulterebbe localizzata nella zona precedente la fase di svincolo (grafico 28, freccia verde). Tale differenza risulta chiara osservando il grafico 29 delle velocità calcolate con l'accelerometro che mostra una netta differenza di velocità a

vantaggio del lato di pagaiata sinistro.

L'osservazione delle medie delle accelerazioni laterali, grafici 30 e 31, riferite alle quattro prove effettuate dall'atleta A1-M, sembrerebbe evidenziare molte similitudini tra i colpi a sinistra e quelli a destra.

In tutti e due i grafici risultano presenti, durante la passata in acqua (circa 0,35 secondi), due accelerazioni, di cui la prima più grande della seconda.



Grafici 30-31. Al-M, confronto tra le medie di tutte e quattro le prove delle accelerazioni laterali, dei colpi a destra, riferiti al percorso lanciato.

La prima accelerazione ha inizio con il punto di massima accelerazione longitudinale (0,19 secondi), la seconda coincide con la fase di svincolo.

Di senso opposto è invece l'accelerazione laterale durante la fase aerea; come detto precedentemente tale accelerazione è generata molto probabilmente da un movimento del canoista che inizia la spinta

delle gambe, del bacino e del tronco per prepararsi al colpo successivo.

Osservando le frecce rosse, riferite ai grafici dei colpi sinistra e quelli a destra (grafici 30 e 31), si nota che la quarta prova (linea tratteggiata, frequenza di pagaiata più elevata 116 colpi al minuto) registra in tutti e due i lati di pagaiata un'accelerazione maggiore (frecce rosse).



Nel grafico 32 concernente la media sincronizzata delle quattro prove dell'atleta A1-M, si nota (freccia nera) un maggior picco

di accelerazione nei colpi a sinistra, tale dato coincide con il picco di accelerazione longitudinale dei grafici 28 e 29.

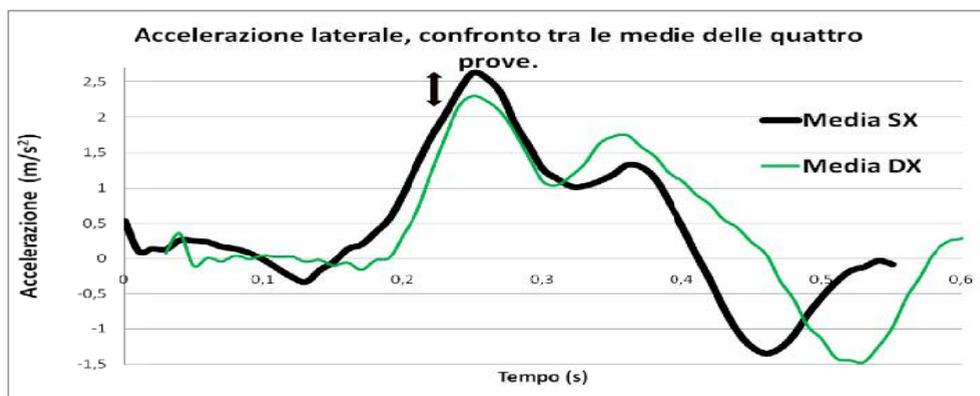


Grafico 32. A1-M, confronto tra le medie di tutte e quattro le prove delle accelerazioni laterali (dati sincronizzati), dei colpi a sinistra e destra, riferiti al percorso lanciato.

Le accelerazioni verticali delle quattro prove svolte dall'atleta A1-M (grafico 33) non presentano una differenza elevata per ciò che riguarda il valore di accelerazione verticale massima, ma differiscono per una maggiore durata nel tempo di tale accelerazione a vantaggio di circa 3 centesimi di secondo per i colpi a sinistra (freccia nera grafico 33).

Tale accelerazione ha inizio con l'entrata della pala in acqua, raggiunge il suo picco massimo poco prima della fase di svincolo, per poi invertire la direzione. Il momento di inversione dell'accelerazione (rilevata cinematicamente) si realizza nel momento in cui la pagaia termina di essere perpendicolare al piano dell'acqua.

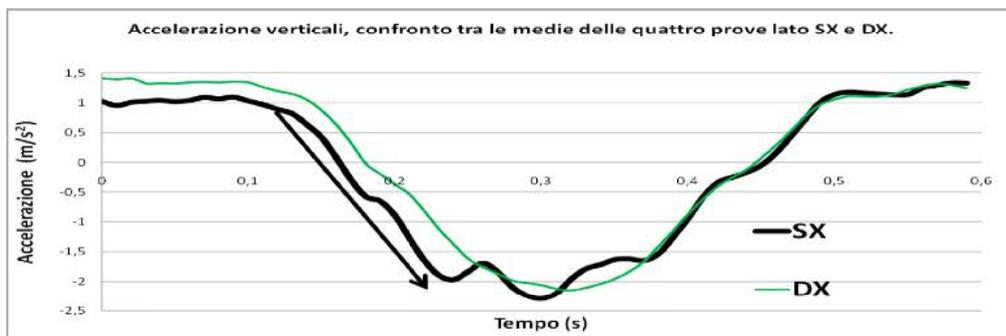


Grafico 33. A1-M, prima, seconda, terza, quarta prova, accelerazioni verticali, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e destra, riferiti al percorso lanciato.

L'azione di questa accelerazione è ben nota al tecnico di canoa che la interpreta osservando il beccheggio dell'imbarcazione. Il beccheggio è tanto più evidente in quegli atleti di un livello tecnico meno elevato.

Infatti gli atleti principianti (ma non solo), spesso nella fase di svincolo, tendono ad esercitare con il braccio di spinta una forza verso il basso, provocando un beccheggio sproporzionato e responsabile molto probabilmente di

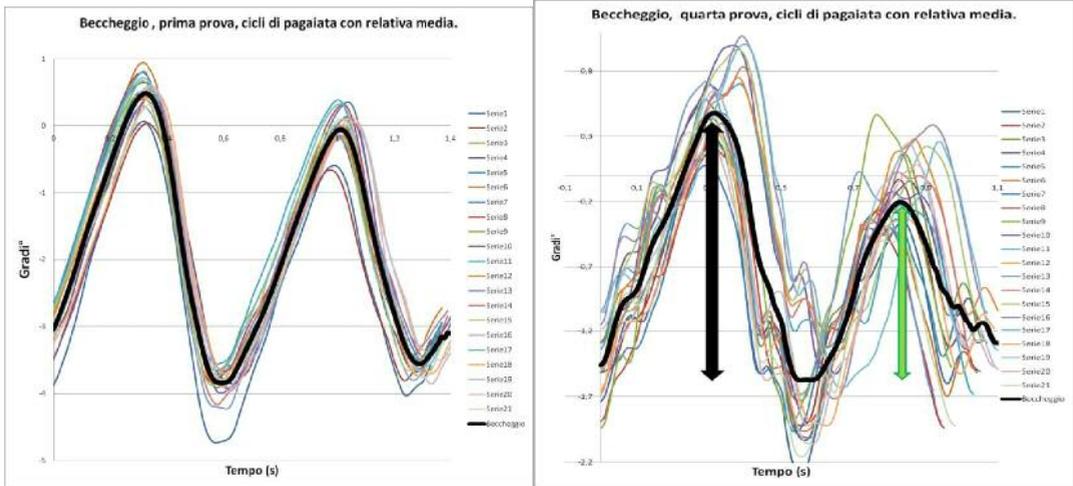


Grafico 34-35. Al-M, prima e quarta prova, beccheggio, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e destra, riferiti al percorso lanciato.

attriti inutili.

Il beccheggio dell'imbarcazione, è connesso con le accelerazioni verticali; osservando i grafici 33 e 34, riferiti alla prima prova (frequenza 85) e quarta prova (frequenza 116) notiamo che:

- Ad una frequenza di pagaiata più bassa il beccheggio della canoa è maggiore, infatti nella prima prova il beccheggio medio è 3,5 gradi, nella quarta prova l'angolo di assetto è di 2 gradi;
- Ad una frequenza più elevata si verifica una differenza di beccheggio maggiore tra un lato e l'altro di pagaiata (grafico 35,

quarta prova, freccia nera e verde);

- Anche in questo caso, come per quanto riguarda le accelerazioni verticali, il punto di massimo beccheggio si verifica nel momento in cui la spinta verticale della pala in acqua, legata all'angolo di incidenza con l'acqua, cambia direzione dall'alto in basso e viceversa.

Per quanto riguarda il rollio (grafico 36) possiamo notare che l'oscillazione media è circa 6/7 gradi. In ogni prova è presente un rollio di poco superiore durante l'esecuzione del colpo a sinistra.

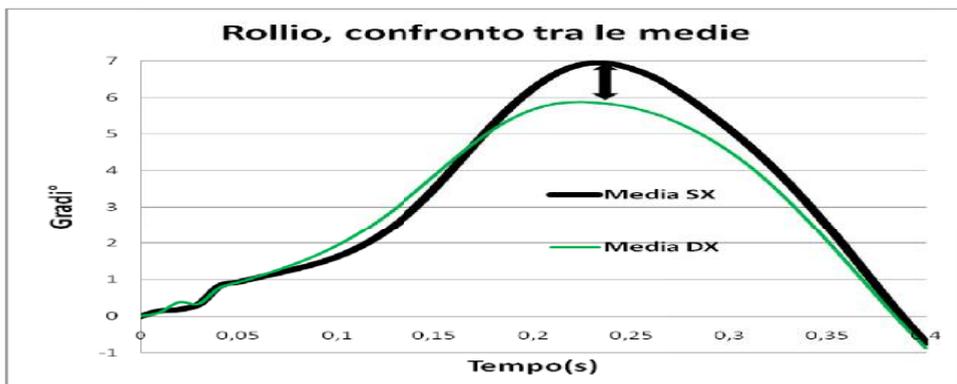


Grafico 36. Al-M, prima, terza, quarta prova, rollio, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e destra.



E' interessante notare che il punto di massimo rollio, si verifica appena dopo l'estrazione della pala dall'acqua.

Tale punto coincide con la massima torsione del canoista, in quel momento infatti il peso dell'atleta tende a posizionarsi verso il lato di trazione che si è appena concluso. Inoltre in quel momento il canoista non ha più nessun vincolo, viene a mancare infatti l'appoggio della pagaia in acqua.

Analizzando i tre grafici constatiamo come la

durata del rollio segua la tempistica della frequenza di pagaia.

Il movimento d'imbardata dell'imbarcazione parrebbe seguire l'andamento delle accelerazioni laterali e longitudinali (la media di tutti i cicli corrisponde alla linea nera).

Nel grafico 37 è evidenziato con la freccia nera la variazione angolare del lato sinistro, tale variazione media è molto più evidente dell'imbardata del lato destro di pagaia (freccia rossa).

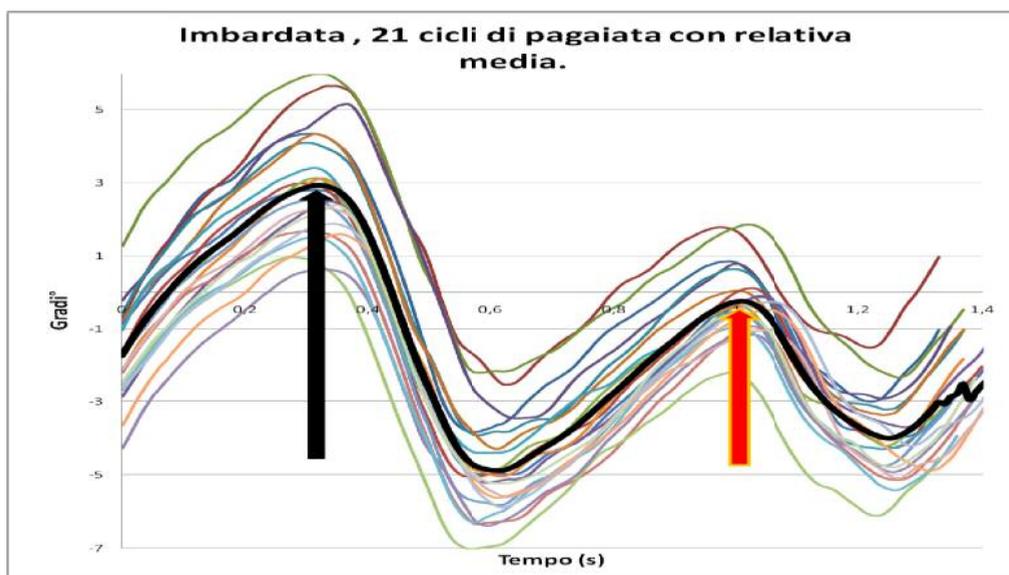


Grafico 37. AI-M, prima prova, imbardata riferite all'insieme di tutti i cicli di pagaia del percorso lanciato.

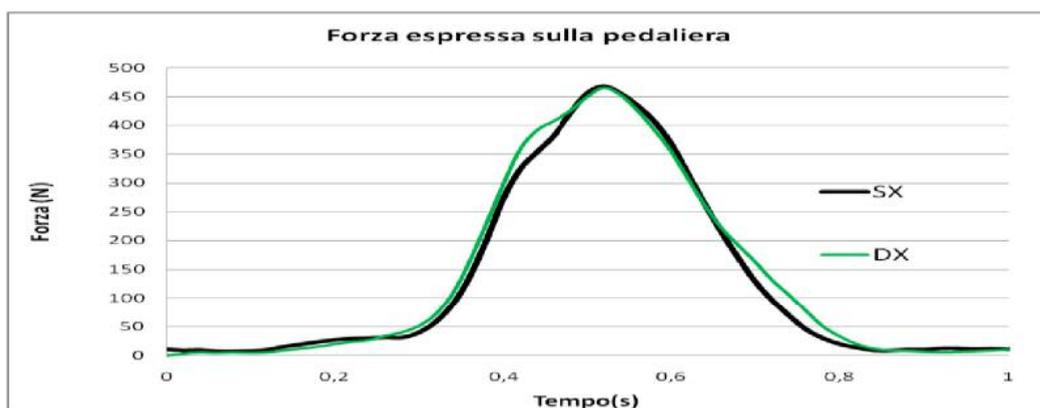


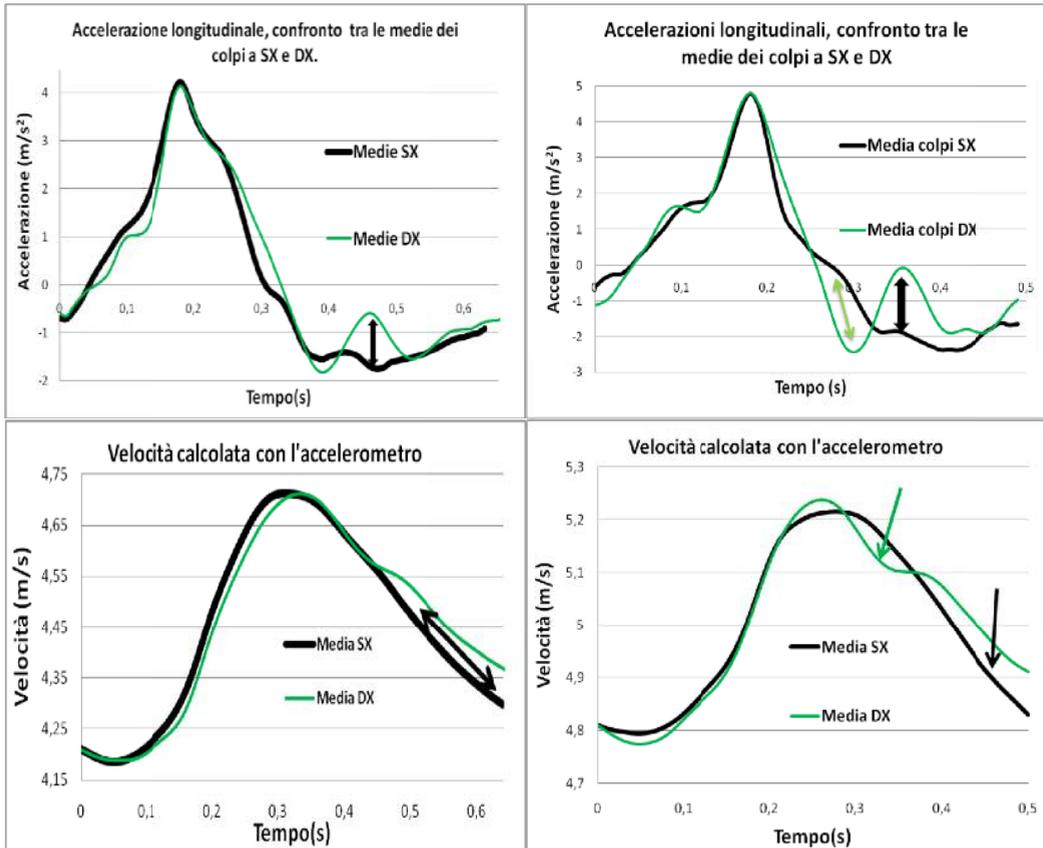
Grafico 38. AI-M, quarta prova, forze espresse sulla pedaliera, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e destra, riferiti al percorso lanciato.

Le forze espresse sulla pedaliera (grafico 38) non rilevano nessuna differenza media, il valore di forza espressa è in tutti e due i piedi circa 465 Newton.

2.11. Analisi dei dati riferiti all'atleta A2-M

Osservando i grafici 39-40, ricavati dall'analisi della prima prova (frequenza di pagaiata 91)

e alla quarta prova (frequenza di pagaiata 127) dall'atleta A2-M, si evidenzia un fenomeno accelerometrico comune a tutte e due le prove. Durante la fase aerea del lato destro (grafici 39-40 linea verde) si nota una fase (freccie nere) in cui la decelerazione risulta minore rispetto al lato sinistro. Tale minor decelerazione è evidente osser-



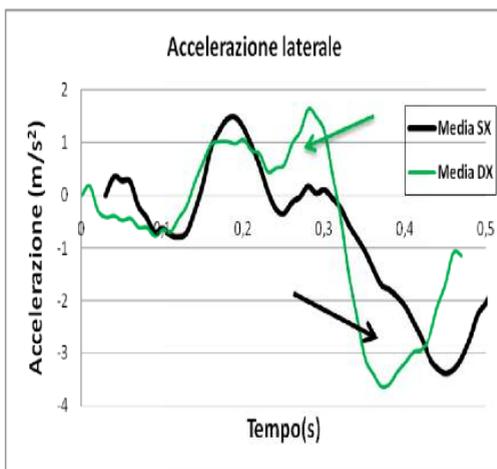
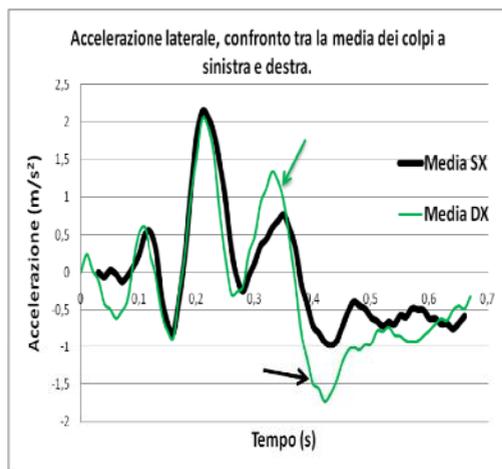
Grafici 39-40-41-42. A2-M, prima prova e quarta prova, accelerazioni longitudinali e velocità calcolata, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

vando i grafici 41 e 42 riferiti alla velocità media calcolata con l'accelerometro delle due prove.

Nella quarta prova svolta ad una frequenza di 127 colpi al minuto (grafici 40 e 42) si nota nei colpi a sinistra una minor perdita di velocità durante la fase di svincolo (freccia verde). Tale maggior velocità viene bilan-

ciata da una minor decelerazione durante la fase aerea del lato destro (freccie nere grafici 40 e 42)

Osservando i grafici 43 e 44 riferiti alle accelerazioni laterali notiamo alcune caratteristiche che potrebbero far ipotizzare la peculiarità dei fenomeni connessi alla velocità del Kayak.

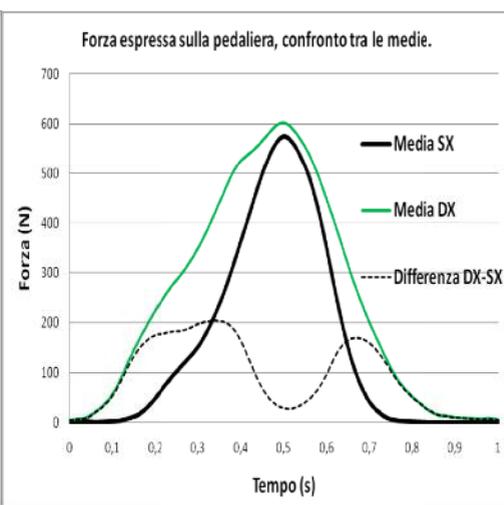
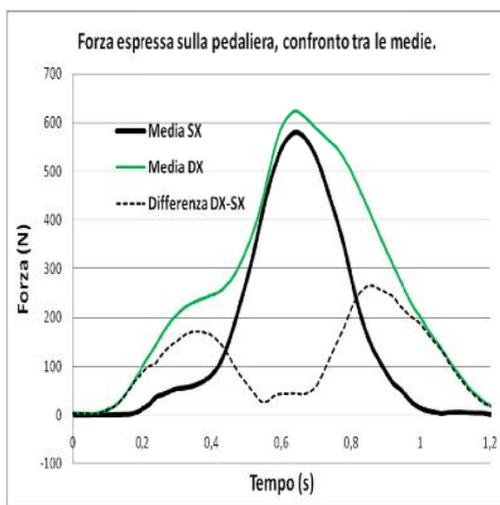


Grafici 43-44. Prima e quarta prova, accelerazione laterale, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

I grafici riferiti ai due lati di pagaiata sono molto simili, presentano durante la passata in acqua due accelerazioni: la prima è coincidente, la seconda invece è a destra quasi il doppio di quella sinistra (freccie verdi grafico 43-44). Tale fenomeno potrebbe essere causato da un'estrazione della pala dall'acqua realizzata con una componente di forza laterale. In effetti, osservando i grafici riferiti alla quarta prova delle accelerazioni longitudinali e delle velocità (grafici 40 e

42), è facile verificare nella fase di svincolo del lato destro una perdita più rapida dell'accelerazione.

Nella fase aerea sul lato destro (grafico 43 e 44 freccia nera) si evidenzia un'accelerazione contraria molto più elevata che sul lato sinistro, tale accelerazione potrebbe aver determinato la minor perdita di velocità apprezzata durante la rilevazione dei dati delle accelerazioni longitudinali (grafici 39 e 40 freccie nere).



Grafici 45-46. Prima e quarta prova, forza espressa sulla pedaliera, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

Osservando il grafico 44 (quarta prova frequenza 116) risulta molto più significativa l'inversione di accelerazione laterale durante la fase aerea del lato destro, il valore supera i -3 m/s^2 (freccia nera), il doppio di quanto registrato ad una frequenza di 91 colpi al minuto (grafico 43 freccia nera).

Molto interessante risulta essere l'osservazione delle forze espresse sulla pedaliera.

Il piede sinistro (linea nera) esprime forza sulla pedaliera solamente durante la passata in acqua, mentre la forza espressa sul piede destro (linea verde) è più costante ed omogenea durante tutte le fasi del ciclo di pagaiata. La forza sulla pedaliera viene esercitata anche durante la passata in acqua del lato sinistro, tale differenza è evidente osservando la linea tratteggiata dei grafici 45 e 46. Tale fenomeno potrebbe avere delle correlazioni con la minor perdita di velocità rilevata sul lato destro durante la fase aerea (grafici 41 e 42 frecce nere) e sulle accelerazioni laterali

(grafici 43 e 44 frecce nere).

Non esistono particolari differenze per ciò che riguarda la massima forza espressa, tale forza è circa 600 Newton, con una leggera superiorità per la forza espressa a destra.

La durata dell'applicazione di forza è determinata dalla frequenza di pagaiata, infatti, nella prima prova (frequenza 91) la durata della forza è maggiore rispetto alla quarta prova (frequenza 127).

2.12. Analisi dei dati riferiti all'atleta A3-M

Questa prova è stata effettuata ad una frequenza molto bassa (82 colpi al minuto), mediamente la frequenza di gara è circa il 30% più elevata.

Il grafico accelerometrico di un colpo tipico del lato destro di pagaiata dell'atleta A3-M, mostra come siano evidenti due punti d'interruzione (frecce verdi); molto interessante risulterebbe comprendere dettagliatamente che cosa generi questa interruzione di accelerazione.

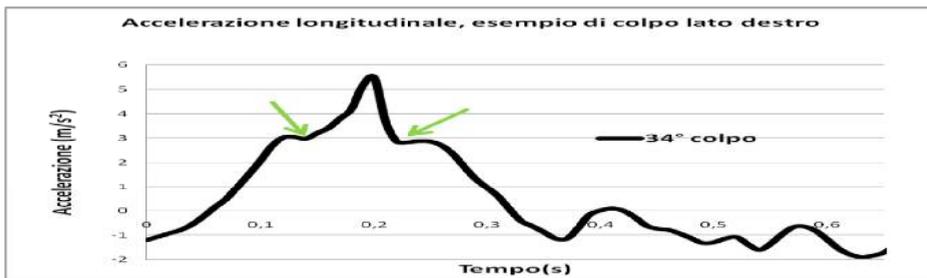


Grafico 47. A3-M, prima prova, esempio di colpo tipico, lato destro.

Osservando il video, da un punto di vista puramente tecnico si osserva che, durante l'esecuzione del colpo a destra, l'atleta A3-M tende

letteralmente a sbattere la pagaia in acqua in modo molto violento, anticipando molto la spinta del braccio sinistro.

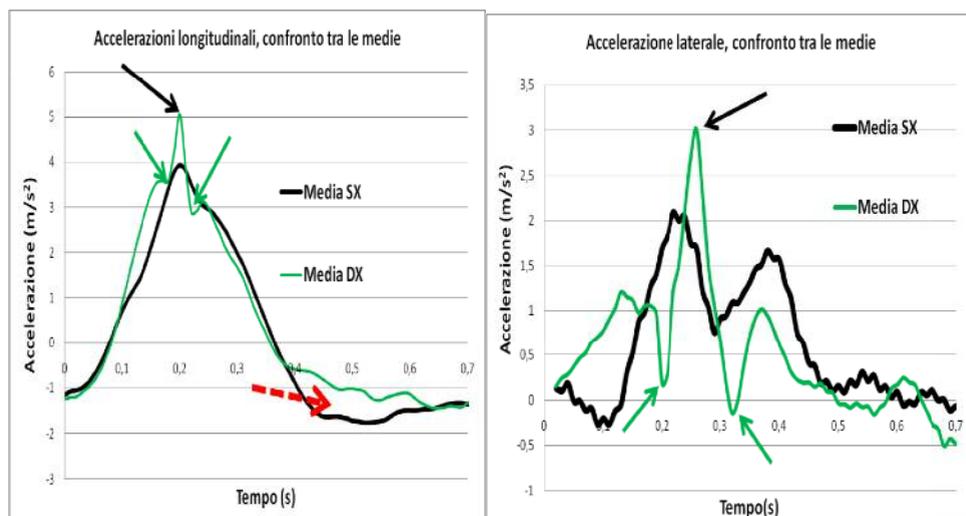


Immagini 9-10. A3-M, velocità angolari e beccheggio.



Dall'osservazione della velocità angolare del colpo destro (immagine 9) rilevata cinematicamente si evidenzia un attacco molto rapido (freccia gialla); anche angoli diversi (sembra) producono una immersione diversa, che spiegherebbe l'accelerazione instabile. Tale fenomeno non sembra invece essere presente nei colpi a sinistra (immagine 10). Dal confronto delle medie delle accelerazioni longitudinali (grafico 48) evidenziamo

che, la differenza del punto di massima accelerazione longitudinale destro (freccia nera) risulta essere superiore a quello sinistro, inoltre si notano i due punti d'interruzione di accelerazione (freccie verdi), l'accelerazione negativa durante la fase aerea è minore a destra (freccia rossa tratteggiata grafico 48). Nei colpi a sinistra non è presente il fenomeno dell'interruzione di accelerazione.



Grafici 48-49. A3-M, prima prova, accelerazione longitudinale e laterale confronto tra le medie dei colpi a sinistra e destra, riferiti al percorso lanciato.

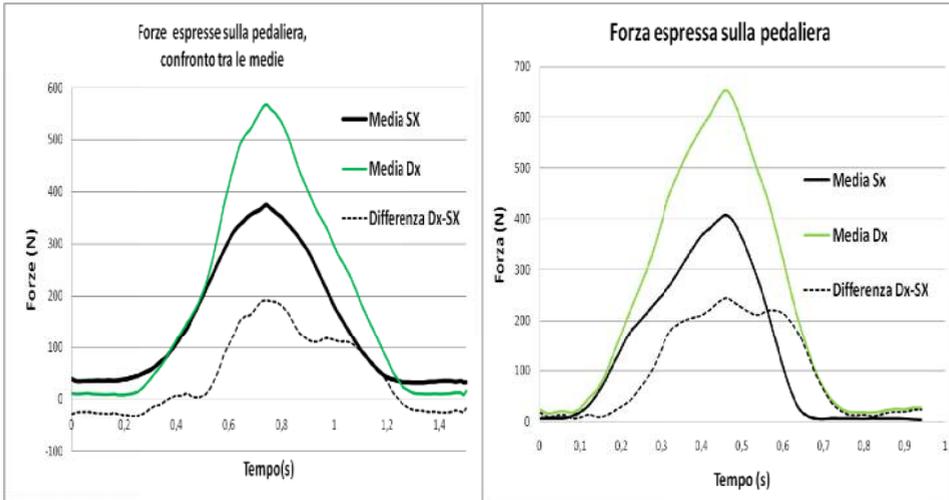
Osservando la media dei valori riferiti all'accelerazione laterale (grafico 49) notiamo la presenza sul lato destro di pagaiata dei due punti di cambio di accelerazione (freccie verdi), tali zone sembrerebbero essere molto correlate l'interruzione di accelerazione longitudinali del grafico 48 (freccie verdi). Inoltre notiamo nel grafico 49 un punto di massima accelerazione laterale riferita al lato destro (freccia nera) molto elevata, tale valore raggiunge un picco di 3 m/s^2 , mentre a destra risulta essere di 2 m/s^2 .

Nelle media della forza espressa sulla pedaliera (grafico 50) si nota una grande differenza (linea tratteggiata) tra il picco di forza tra il lato sinistro (375 Newton) ed il lato destro

(567 Newton).

Tale enorme differenza di forza espressa è stata verificata anche, nella quarta prova svolta ad un'intensità più elevata (grafico 51). Rileviamo una forza maggiore che raggiunge sul piede destro 650 Newton e anche in questa prova esiste una notevole differenza di forza esercitata sul piede destro (grafico 51 linea tratteggiata).

In tutti e due i grafici è da evidenziare come non sia presente solamente un picco di forza maggiore ma anche una notevole discrepanza d'impulso di forza. Tale differenza d'impulso sul lato destro sembrerebbe avere un nesso con la minor perdita di velocità durante la fase aerea, (grafico 48 freccia rossa tratteggiata).



Grafici 50-51. A3-M, prima e quarta prova, forze espresse sulla pedaliera, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

Osservando il grafico 52 riferito alle medie dell'angolo di rollio dell'imbarcazione, constatiamo che: a destra l'angolo d'inclinazione è maggiore di circa un grado (freccia nera); si nota anche un maggior tempo d'inclinazione dell'imbarcazione (freccia verde) che sembrerebbe avere una relazione con il maggior impulso di forza sul piede destro.

I dati medi riferiti al rollio sembrerebbero dimostrare che questi valori siano in qualche modo correlati con l'accelerazione longitudinale e in modo particolare con la forza espressa sulla pedaliera (grafico 50 e 51). Tutto questo potrebbe essere legato ad un angolo sbagliato fra le pale della pagaia.

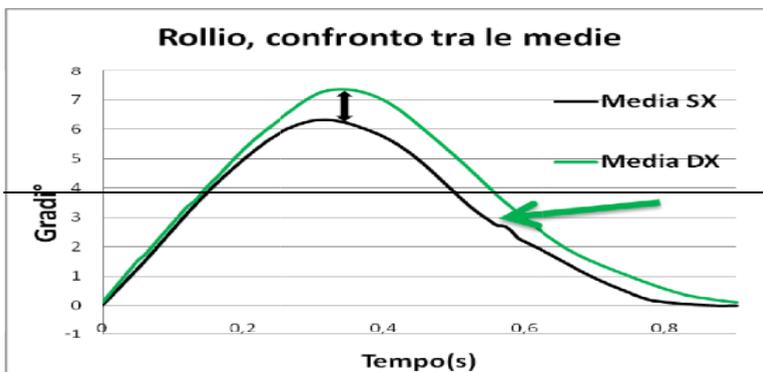


Grafico 52. A3-M, prima prova, rollio, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

2.13. Analisi dei dati riferiti all'atleta A1-F (donna)

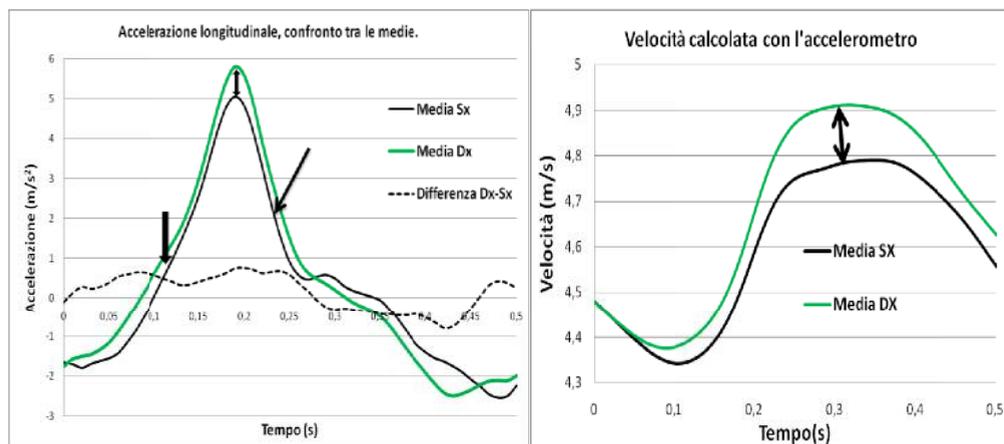
Le prove effettuate dall'atleta sono state svolte in condizioni meteo di vento ed onde, ciò

rende necessario valutare con molta cautela i dati raccolti allo scopo di poter comprendere quali di questi fenomeni siano determinati dalla tecnica di pagaia e quali invece dalle cattive condizioni meteo.



Osservando il grafico 53 si evidenzia una maggiore accelerazioni longitudinali, nella media dei colpi a destra. La particolarità di questo grafico è che la differenza di accelerazione non è presente solamente in concomitanza con il punto di massima accelerazione, ma durante tutto il tempo relativo alla passata

in acqua (freccie nere) ciò genera una grande differenza di accelerazione (linea tratteggiata). Tale differenza di accelerazione, che a colpo d'occhio potrebbe risultare minima, fa scaturire una differenza di velocità calcolata con l'accelerometro molto rilevante (grafico 54 freccia nera).



Grafici 53-54. A1-F, quarta prova, accelerazione longitudinale e velocità calcolata, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

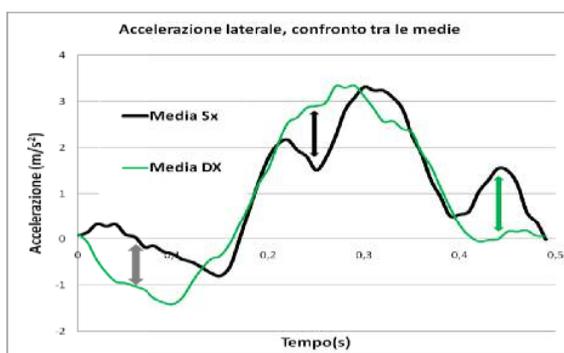


Grafico 55. A1-F, quarta prova, accelerazione laterale, confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.

Osservando il grafico 55 delle accelerazioni laterali, notiamo:

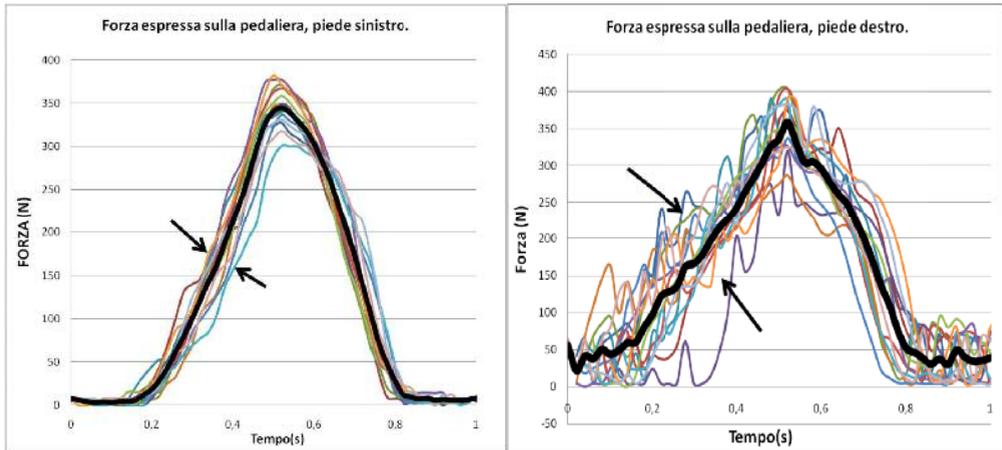
- A destra in attacco è presente un'accelerazione molto più evidente che a sinistra (grafico 55 freccia grigia);
- Durante la passata in acqua sul lato destro è costantemente presente l'accelerazione, mentre a sinistra tale accelerazione subisce un calo (freccia nera);
- Nella fase aerea (freccia verde) è presente nei colpi a sinistra un'accelerazione che a destra non è presente;
- L'accelerazione laterale media risulta in questa atleta molto evidente, raggiungendo in tutti e due i lati di pagaiata valori elevati 3 m/sec².

Tale fenomeno potrebbe essere generato o dalle presenze di onde laterali, oppure dal fatto che l'atleta esprime sulla pagaia una componente di forza laterale.

In effetti, tale atleta a livello tecnico durante la passata in acqua mantiene con la pala linee molto esterne rispetto agli altri atleti ed inoltre la pagaia in acqua risulta essere molto meno

perpendicolare all'acqua rispetto alla media degli altri atleti esaminati.

Prima di analizzare il confronto tra la media dei colpi a sinistra e a destra sono mostrati i grafici di ogni singolo lato di pagaiata, tale suddivisione è necessaria per comprendere la differenza di trasmissione di forza sulla pedaliera di questa atleta.

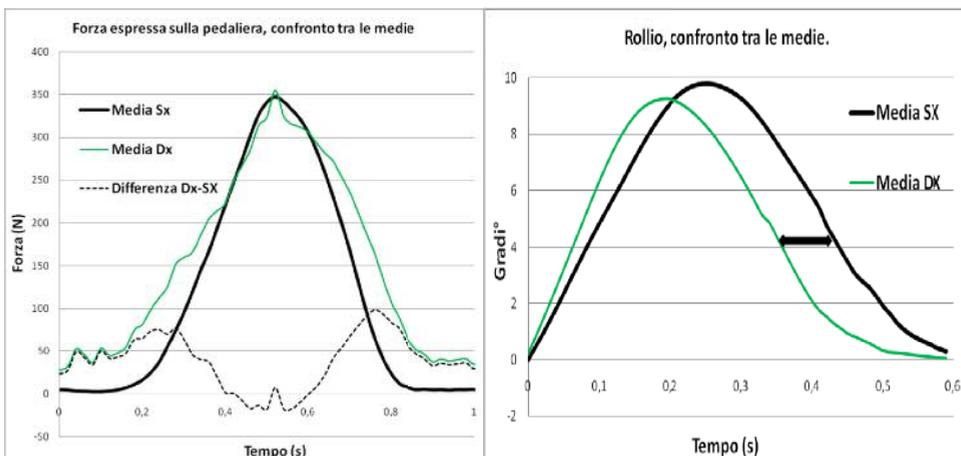


Grafici 56-57. A1-F, quarta prova, forze espresse sulla pedaliera, medie dei colpi a sinistra e a destra.

Le linee, riferite alla spinta del piede sinistro (grafico 56), sono molto vicine alla loro media (linea nera), si nota come la trasmissione di forza avvenga in modo progressivo, viceversa, la forza media espressa sul piede destro

(grafico 57) è composta da linee molto diverse tra loro, ciò sembrerebbe dimostrare una spinta poco uniforme sulla pedaliera.

Osservando la media delle forze espresse (grafico 58) notiamo che il punto di massima



Grafici 58-59. A1-F, quarta prova, forze espresse sulla pedaliera e rollio confronto tra le medie dei colpi a sinistra e a destra, riferiti al percorso lanciato.



applicazione di forza è uguale per tutti e due i lati di pagaiata è cioè 350 Newton, tale dato risulta essere inferiore al dato dalle forze degli altri atleti di sesso maschile.

L'impulso di forza è nettamente a vantaggio dei colpi a destra (linea tratteggiata grafico 58).

Il grafico 59 riferito al Rollio mostra come in questo caso l'atleta abbia un valore superiore alla media degli altri atleti maschi, infatti l'angolo d'inclinazione è di 10 gradi, mentre la media degli uomini è 6/7 gradi.

Il rollio a sinistra ha una durata molto più ampia del lato destro (freccia nera grafico 59), molto probabilmente tale oscillazione anomala è dovuta alle condizioni di onde durante l'esecuzione delle prove.

2.14. Considerazioni sulla simmetria. Relazione esistente tra i fenomeni di accelerazione oscillazione del kayak e le forze espresse sulla pedaliera.

Anche negli atleti di livello elevato è presente il fenomeno delle asimmetrie. In questo studio, seppur condotto su di un campione numerico limitato ma basatosi sull'analisi dei dati raccolti, è stato rilevato che raramente vengono riscontrati valori identici tra il lato sinistro e destro di pagaiata.

L'efficacia del colpo non dipende solamente dal picco di accelerazione, ma ciò che conta nella passata in acqua efficace è l'impulso di forza, che si realizza utilizzando una buona tecnica di pagaiata tale da consentire una buona applicazione di forza per più tempo possibile.

Inoltre, per ottenere un ottimale scorrimento della canoa in acqua, è fondamentale non disperdere la velocità ottenuta, grazie alla passata in acqua, nella successiva fase aerea. Per questo, il canoista deve evitare movimenti inutili durante questa fase, questo per non favorire maggiori attriti dovuti ad un incremento delle resistenze con l'acqua.

Nella maggior parte dei casi, una prestazione

più veloce non dipende solo da un maggior picco di accelerazione longitudinale, ma da una passata in acqua più rapida e da una fase aerea il più ridotta possibile, quindi da una frequenza di pagaiata più alta. Tutto ciò, ovviamente, nei limiti fisiologici della ripetizione del gesto.

In tutte le prove, anche se svolte ad intensità diverse, ogni atleta sembrerebbe aver avuto alcune caratteristiche specifiche di pagaiata e, soprattutto, tendono a restare invariati alcuni valori, in particolare quelli relativi alle asimmetrie.

Il rollio dell'imbarcazione, in tutte le prove analizzate, è maggiore sul lato in cui viene registrata l'accelerazione longitudinale più elevata, anche la sua durata è proporzionale al tempo di passata in acqua. Infatti, in quasi tutti i casi analizzati con il video e poi con l'accelerometro, sembrerebbe essere dimostrato che l'angolo massimo di rollio del kayak venga raggiunto poco dopo l'estrazione della pala dall'acqua. Inoltre, l'ampiezza dell'angolo di rollio appare avere una stretta relazione con la spinta esercitata dal piede sulla pedaliera: evidentemente causata dallo spostamento del peso effettuato per facilitare biomeccanicamente tale gesto.

Le accelerazioni verticali ed il beccheggio dipendono dalle traiettorie della pagaia in acqua. Il punto massimo di accelerazione si ottiene mediamente circa 0,08 s dopo il punto massimo di accelerazione longitudinale. Tale attimo, riferito alla tecnica di pagaiata, è quello corrispondente al punto in cui la pagaia raggiunge la verticalità sul piano sagittale, dopo il quale avviene l'inversione dell'angolo della pagaia. Dall'osservazione fatta con il video e dai riscontri con i dati accelerometrici è stata notata una grande relazione con il fenomeno del beccheggio. Mediamente il punto massimo di beccheggio avviene 0,06 s dopo la massima accelerazione verticale.

Contestualizzando questo momento nella pagaiata, il massimo beccheggio, corrisponde



circa al punto compreso tra la verticalità della pala in acqua e l'inizio dello svincolo. Le forze espresse sulla pedaliera sono proporzionali alle accelerazioni longitudinali, ma anche al rollio dell'imbarcazione. I dati rileva-

ti sono stati utili per valutare queste evidenze difficilmente quantificabili dall'esterno e quindi dal tecnico, sempre attento a verificare la reattività o la progressività nella spinta di gambe e il suo anticipo rispetto all'attacco.

CONCLUSIONI

Con questo lavoro, sono stati individuati ed evidenziati diversi elementi di analisi capaci, soprattutto per l'alto livello, di fornire un ulteriore supporto nella gestione metodologica dell'allenamento, cercando di fornire strumenti capaci di ottimizzare e individualizzare l'allenamento della tecnica, importante anche negli atleti top-level.

Schematicamente nei punti che seguono, in sintesi vengono riassunte le principali risultanze di questo lavoro.

1) Dall'analisi delle caratteristiche fondamentali della pagaia e dei valori di accelerazione di un canoista di alto livello, emerge chiaramente che alcuni di questi aspetti sono strettamente correlati fra loro (in positivo o in negativo) e tra questi segnaliamo:

- L'aumento della velocità del kayak e l'aumento della frequenza di pagaia ($r=0,99$);
- L'aumento della velocità e la durata della fase di accelerazione positiva ($r= -0,88$);
- L'aumento della frequenza di pagaia e la durata della fase in acqua ($r=-0,86$).

Minore correlazione ma comunque significativa esiste tra:

- La frequenza di pagaia e durata fase positiva ($r= -0,80$);
- La frequenza e l'accelerazione longitudinale ($r= 0,78$);
- La velocità e la durata della fase in acqua

($r= -0,77$);

- La durata della fase in acqua e l'accelerazione longitudinale ($r= -0,77$);
- La velocità e l'accelerazione longitudinale ($r=0,76$).

2) L'aumento dell'efficacia della pagaia in termini di velocità di avanzamento della canoa ad ogni colpo, è in relazione all'aumento dei parametri di massima accelerazione longitudinale, rapidità del colpo (e quindi frequenza di pagaia!!) e lunghezza del colpo. Sappiamo tuttavia che esistono altri parametri della pagaia, che concorrono a migliorare l'efficacia ed in particolare quelli biomeccanici riferiti alle traiettorie delle mani e delle braccia del canoista e ai relativi angoli di lavoro della pagaia sul piano sia frontale che sagittale (Guazzini e Mori, 2008).

3) Le immagini relative ai video sincronizzati con accelerazione e spinta sul puntapiedi, hanno mostrato aspetti decisamente interessanti e immediatamente utilizzabili nell'insegnamento della tecnica. Durante la prima fase di immersione della pagaia, la canoa è in decelerazione, derivante dalla precedente fase aerea ed è necessario arrivare a circa metà propulsione, esattamente quando sul piano sagittale la pagaia è in posizione quasi verticale, per ottenere la massima accelerazione longitudinale nonché la massima spinta sul puntapiedi



- del piede corrispondente. Nella seconda metà della propulsione la canoa riduce sensibilmente l'accelerazione, sia per un'azione meno efficace della pala che per la difficoltà biomeccanica di trasmettere il carico alla pedaliera, fino ad arrivare alla decelerazione, che inizia prima dell'estrazione della pala dall'acqua. Questo particolare, assolutamente importante, ci indica che la fase di estrazione è un punto assai delicato dove con facilità si rischia di frenare la canoa e perdere una buona percentuale dell'accelerazione prodotta. Da questa evidenza, ne scaturisce quindi la regola generale, valida non solo per i principianti ma anche per i canoisti di alto livello, di non ritardare l'estrazione e, più precisamente di effettuare l'estrazione quando la mano che impugna la pala in acqua si trovi (con vista sul piano sagittale) non oltre metà coscia e il gomito non oltre la linea del tronco.
- 4) A conferma dei dati riportati in letteratura scientifica, è stato verificato il rapporto fra fase aerea e fase in acqua alle varie frequenze di pagaiata. Osservando i dati relativi agli atleti di sesso maschile, si evidenzia che all'aumentare della velocità di esecuzione dei test, quindi della frequenza di pagaiata, il rapporto percentuale tra passata in acqua e fase aerea varia in favore della durata della fase in acqua. Alla frequenza media dei test di 100 colpi al minuto, con una durata del colpo di 0,60 s, tale rapporto risulta essere circa 64% in acqua e circa 36% in aria.
 - 5) E' presente una relazione tra la maggior accelerazione longitudinale del kayak su un lato, piuttosto che sull'altro e le altre accelerazioni e angoli di assetto dell'imbarcazione. L'asimmetria tra un lato e l'altro di pagaiata è un fenomeno presente anche negli atleti di alto livello. Nella maggior parte degli atleti esaminati sono stati notati incrementi di accelerazioni laterali e maggiorazioni degli angoli di assetto del kayak conseguenti a differenti e maggiori accelerazioni longitudinali su un lato.
 - 6) A parità di picco massimo di accelerazione longitudinale, si è constatato che la fase positiva della pagaiata diminuisce con l'aumentare della frequenza di pagaiata. Quindi per raggiungere una notevole prestazione è fondamentale trovare il giusto rapporto tra una buona efficacia del colpo e una fase aerea non troppo lunga, durante la quale siamo sempre in presenza di decelerazione.
 - 7) E' presente una relazione tra forza espressa sulla pedaliera e accelerazione longitudinale del kayak. Tale fenomeno è presente nella maggior parte degli atleti analizzati, in modo particolare si è notato che, dove la forza sulla pedaliera risulta maggiore, migliore è anche l'avanzamento del kayak. Inoltre dove è presente una forza espressa in modo prolungato e quindi con un impulso di forza più lungo, esiste un nesso con la minor perdita di velocità durante la fase aerea. La spinta di gambe, quindi non solo deve essere sincrona e decisa con l'immersione della pala, ma deve essere anche omogenea per tutta la passata in acqua.
 - 8) Individuazione e calcolo della ripartizione percentuale media della "fase positiva". Rapporto utile per comprendere quanta forza erogata (dall'immersione all'uscita della pala dall'acqua) venga realmente utilizzata per produrre avanzamento e quanta invece vada dispersa. Questo rapporto, alla frequenza media dei test di 100 colpi al minuto, risulta pari al 68% di forza utile all'avanzamento mentre ben il 32% non produce accelerazione. Tutto ciò conseguenza della assorbimento di forza dovuta alla crescita del carico durante l'immersione e alla perdita durante lo svincolo: fasi necessarie ma che comportano una riduzione della velocità (accelerazione negativa).



Tutte le informazioni contenute in questo lavoro potranno essere utilizzate come reale supporto alle conoscenze degli allenatori e per favorire l'introduzione di nuovi contenuti ai programmi già in uso per migliorare la tecnica. Altre possibili ricadute potrebbero riguardare l'ottimizzazione degli assetti, delle impostazioni, e addirittura la progettazione di pagaie e canoe. Inoltre, questo studio, soprattutto in riferimento ad allenamenti di alto e altissimo livello, come quelli delle squadre nazionali, fornisce un modello delle attività possibili, auspicabili e

capaci di fare valutazioni oggettive e, all'occorrenza, introdurre i necessari correttivi.

Per il futuro, sono auspicabili ulteriori approfondimenti nell'analisi dei video, perfezionando la sincronia e il confronto con i dati accelerometrici e il loro rilevamento in gara e in vasca navale (al riparo da ogni agente atmosferico) e un ampliamento del campione numerico di atleti sia maschile che femminile, sia di alta specializzazione ma, anche per favorire confronti, di diversa qualificazione.



BIBLIOGRAFIA

- Boiko V.V. (1987) Zelenapravliennie razvitiie dvigatelnoich sposovnostei celoveca, Fizkul'tura I sport, Mosca (traduzione in lingua Tedesca, a cura di Tschiene P., Francoforte, 1988).
- Carter A.G.W., Peach J.P., Pelham T.W. & Holt L.E. (1994) Discrete measures of C-1 craft acceleration using various paddle designs, Biomechanics in sports, XII: 190-194.
- Colli R., Faccini P., Schermi C., Introini E., Dal Monte A. (1990) Valutazione funzionale ed allenamento del canoista, SdS, n.18: 26-37.
- Colli R., Introini E. (2004) Dati personali non pubblicati.
- Colli R., Introini E. (2006) Dall'allenamento fisiologico all'allenamento tecnico: il ruolo fondamentale del costo energetico, Nuova Canoa Ricerca, n.61/62: 3-16.
- Colli R., Introini E., Buglione A., Azzone V., Paternoster M. (2009) Il costo energetico nella canoa-kayak, SdS, n.80: 55-66.
- Ghelardini C. (2009) Valutazione di aspetti biomeccanici di tipo cinematico e dinamico del kayak d'acqua piatta analizzati in acqua, Project Work, IX Corso Nazionale di Quarto Livello Europeo, Scuola dello Sport, Coni Servizi, Roma, 14/12/2009 (Supervisore: Dott. Dario Dalla Vedova).
- Guazzini M. (2000) L'Allenamento del Canoista Evoluto, Nuovi Orientamenti, Edizioni Pegaso, Firenze.
- Guazzini M., Mori M. (2008) L'efficacia della pagaiata: meccanica e biomeccanica della canoa, Nuova Canoa Ricerca, n.63/64: 15-38.
- Guerrini G., Petrone N., Isotti A. (2008) Analisi del movimento di pagaiata e acquisizione di carichi in kayak olimpico, Dipartimento Biomeccanica Università di Padova, Canoa Kayak online, FICK, Dicembre.
- Lagala F., Colli R., Introini E. (2007) Dati personali non pubblicati.
- Saraceni M. (1999) Valutazione biomeccanica del gesto sportivo di pagaiata nel kayak olimpico, Tesi di Laurea non pubblicata, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Padova.

Revisione scientifica del testo:

Ing. Massimo Mori e Comitato di Redazione di "Nuova Canoa Ricerca".

Claudio Ghelardini

Allenatore Quarto livello Europeo.

Collaboratore Tecnico Squadre Nazionali Kayak femminile.

Allenatore Gruppo Sportivo Fiamme Gialle Guardia di Finanza.

Marco Guazzini

Coordinatore tecnico scientifico Centro Studi, Ricerca e Formazione FICK. Allenatore Quarto livello Europeo. Docente di Tirocinio di Canoa, cattedra "Teoria, Tecnica e Didattica degli Sport Individuali 2", Corso di Laurea Magistrale in Scienza e Tecnica dello Sport, Facoltà di Medicina e Chirurgia di Firenze.