

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITA' DI BOLOGNA

**Dottorato di Ricerca in
Discipline delle Attività Motorie e Sportive**

XIX ciclo

Sede amministrativa: Università di Bologna

Coordinatore: Prof. Salvatore Squatrito

**IL MURO NELLA PALLAVOLO: MODELLO
BIOMECCANICO ED ESERCIZI SPECIALI**

Tesi di Dottorato

SSD: M-EDF 02

Presentata da:
Dott. Roberto Lobietti

Relatore:
Prof. Franco Merni

Anno dell'esame finale: 2007

IL MURO NELLA PALLAVOLO: MODELLO BIOMECCANICO ED ESERCIZI SPECIALI

1	INTRODUZIONE.....	4
1.1	Analisi del movimento nella Pallavolo	5
1.2	Il muro nella pallavolo: importanza nel gioco e tecniche utilizzate	6
1.2.1	La tecnica	7
1.2.2	Il modello deterministico di Peter Vint e l'analisi di Marcus Tilp	11
2	ANALISI CRITICA DELLO STATO DELL'ARTE NELL'ANALISI BIOMECCANICA DEL MURO NELLA PALLAVOLO.....	14
2.1	L'utilizzo delle tecniche in partita	14
2.2	Le ricerche sugli spostamenti laterali a muro	16
2.3	Le ricerche sul salto verticale a muro	34
2.3.1	Il salto a muro	34
2.3.2	L'allenamento del salto verticale	38
2.4	Scopi di questo progetto.....	40
3	METODI.....	41
3.1	I sistemi stereofotogrammetrici: Vicon Motion System.....	41
3.2	Posizionamento dei markers	43
3.3	Il set-up telecamere	48
3.4	Vicon e volley: PIG e markers da 14 mm per lo studio preliminare limitato agli arti inferiori.....	50
3.5	Vicon e volley: PIG e mkrs da 25 mm per lo studio pilota sul confronto tra Read e Commit Block.....	52
3.6	Vicon e volley: CAST e markers sulla palla per lo studio pilota del timing con l'attaccante	54
3.7	Vicon e volley: CAST e analisi cinematica delle ricadute dai salti	54
3.8	Discussione e conclusioni metodologiche	56
4	SOGGETTI.....	57
5	PROCEDURE.....	59
5.1	SALTI A MURO	59
5.1.1	Il muro d'ala con tecnica Read	59
5.1.2	Il muro con tecnica Commit.....	61
5.2	ESERCIZI SPECIALI	62
5.2.1	L'esercizio con piccolo sovraccarico: asta del bilanciere da 8 Kg.	62
5.2.2	L'esercizio con ricaduta, spostamento e salto.....	63
5.3	ELABORAZIONE CON MATLAB	64
5.3.1	Determinazione degli eventi.	64
5.3.2	Definizione delle variabili cinematiche.	65
5.4	ANALISI STATISTICA.....	68
6	RISULTATI E DISCUSSIONE	70

6.1	Biomeccanica del muro: confronto tra salto sul posto e spostamento laterale nelle due direzioni secondo la tipologia di tecnica utilizzata	70
6.1.1	Variabili temporali	70
6.1.2	Variabili spaziali	79
6.1.3	Velocità	83
6.1.4	Rapporti con la rete	86
6.1.5	Angoli articolari	88
6.2	Confronto tra prestazione di muro ed esercizi speciali	91
6.2.1	Variabili temporali	91
6.2.2	Variabili spaziali	96
6.2.3	Velocità	101
6.2.4	Rapporti con la rete	104
6.2.5	Angoli articolari	105
7	CONCLUSIONI.....	108

1 INTRODUZIONE

Lo studio della biomeccanica assume un'importanza notevole specie nello sport di alto livello: gli atleti competono senza sosta e ripetono continuamente lo stesso gesto. Secondo Hochmuth (1983), i compiti specifici della biomeccanica sportiva sono finalizzati ad offrire un valido supporto scientifico in ambito tecnico, metodologico e didattico attraverso:

- Lo studio sulla tecnica sportiva più razionale e funzionale.
- L'indagine sulla tecnica di perfezionamento personale e la elaborazione di principi biomeccanici per comporre esercizi di preparazione fisica speciale.

Il primo aspetto viene applicato in particolare negli sport a carattere tecnico-compositivo quali la ginnastica artistica e il pattinaggio artistico anche con progettazione di nuovi esercizi attraverso applicazioni di simulazione.

La ricerca della tecnica più efficace per il raggiungimento dei migliori risultati personali è obiettivo dell'allenamento e il compito dell'allenatore è di fornire informazioni di ritorno all'atleta. Lo studio biomeccanico permette la conoscenza e l'acquisizione delle necessarie competenze per svolgere al meglio questo compito. Prima di progettare un programma d'allenamento adeguato è necessario studiare i movimenti e le diverse situazioni di gioco dal punto di vista fisiologico e biomeccanico, in modo da ricavare un preciso modello dei fattori determinanti la prestazione anche nella specificità dei ruoli. L'allenamento sportivo è costituito da esercizi che si differenziano tra loro per caratteristiche cinematiche, dinamiche, per l'intensità e la durata dell'impegno metabolico e la coordinazione inter e intramuscolare.

Gli esercizi sono classificati in tre categorie secondo l'obiettivo che ci si propone di raggiungere:

- Esercizi di gara o simili: sono caratterizzati dalla reiterazione di parti o dell'intera gara.
- Esercizi a carattere generale: concorrono a migliorare le qualità fisiche fondamentali, con uno sviluppo organico e strutturale equilibrato, senza mettere in relazione questi miglioramenti con il modello di prestazione.
- Esercizi a carattere speciale: ripropongono parti significative del modello cinematico, dinamico, metabolico e coordinativo della prestazione di gara ma con intensità maggiori o minori.

Gli esercizi speciali, essendo maggiormente correlati con i fattori determinanti la prestazione, rappresentano un mezzo importante per il miglioramento della performance di atleti di medio-alto livello per i quali la formazione di base dovrebbe essere stata completata. Il numero di tali esercitazioni è più limitato rispetto a quelle generali data l'esigenza di ricercare azioni simili ai gesti di gara. Di conseguenza è importante individuare nuovi esercizi speciali e verificare quelli già conosciuti, con metodi scientifici sempre più precisi, in modo da estrinsecarne meglio le caratteristiche tecniche.

Inoltre la ripetizione continua dello stesso tipo di movimento provoca infortuni da sovraccarico in molte discipline sportive. In particolare negli sport di squadra l'esecuzione dei gesti tecnici risulta essere spesso scorretta, molti movimenti vengono effettuati fuori dai normali range articolari ed in condizioni non fisiologiche. Compito della ricerca scientifica è a questo proposito di analizzare questi movimenti, verificarne la correttezza e proporre nuovi esercizi sostitutivi di quelli dannosi.

1.1 *Analisi del movimento nella Pallavolo*

“I giocatori di pallavolo che seguono i sani principi biomeccanici non solo hanno prestazioni di alto livello ma sopportano anche un numero minimo di infortuni” (Coleman J. & Coleman K., 1994).

A partire da questo principio lo studio biomeccanico dei fondamentali della pallavolo si è soprattutto interessato di tre gesti tecnici: la battuta (con e senza salto), la schiacciata e il muro.

Sono stati scelti questi tre fondamentali per due motivi principali:

- la loro importanza nel gioco agli effetti del risultato sportivo;
- la possibilità di standardizzazione e stabilità del gesto.

Inoltre questi tre fondamentali coinvolgono in gesti esplosivi le articolazioni di spalla (8%) e ginocchio (59%) che risultano essere le articolazioni più colpite da infortuni da sovraccarico nella pallavolo (Gerberich et al., 1987).

Gli infortuni di carattere acuto avvengono durante l'esecuzione di azioni di muro (27,6% soprattutto a carico delle dita e della caviglia) e attacco (32,2% a danno della spalla, del ginocchio e della caviglia) così come risulta dagli studi epidemiologici di (Aagaard and Jorgensen, 1996).

I metodi utilizzati prevedono l'analisi di filmati realizzati in situazioni di gara o laboratorio. Con una sola telecamera si ricostruisce il movimento su un solo piano in 2 dimensioni; con 2 o più telecamere sincronizzate tra loro è possibile l'analisi in tre dimensioni. Esistono dei softwares che, partendo da questi filmati, permettono la digitazione dei punti di reperi articolari e del centro della palla. In tal modo essi possono essere riportati su un sistema di assi cartesiani (x,y,z), partendo dai quali grazie a software specifici si possono individuare i centri articolari e i baricentri. Da tali ricostruzioni si passa all'analisi dei valori spaziali (lineari ed angolari), alle velocità ed alle accelerazioni. La digitazione punto per punto e fotogramma per fotogramma comporta tempi lunghissimi di analisi e la produzione scientifica risulta perciò limitata alla descrizione dei movimenti di pochi giocatori in genere in una sola esecuzione del gesto sportivo.

Con lo sviluppo dei sistemi stereofotogrammetrici di tipo automatico (Elite, Vicon, Smart, E-motion) si è ipotizzato di poter incrementare ed approfondire l'analisi delle tecniche sportive accelerando i tempi di ricostruzione a partire dalle coordinate spaziali di markers riflettenti posizionati sul corpo dell'atleta. Tale tecnologia è stata perciò testata preliminarmente in questo Progetto di Dottorato per l'acquisizione dei diversi fondamentali della pallavolo e constatate alcune difficoltà oggettive e limiti di utilizzo si è individuato nel muro con e senza spostamento il fondamentale che più facilmente si presta ad un'analisi di tipo biomeccanico.

1.2 Il muro nella pallavolo: importanza nel gioco e tecniche utilizzate

L'efficienza del muro è importantissima ai fini del risultato delle partite di pallavolo in quanto:

- permette di realizzare punti diretti;
- favorisce il lavoro della difesa "smorzando" e controllando gli attacchi avversari;
- provoca l'errore d'attacco avversario chiudendo all'attaccante i colpi forti e preferiti;
- riduce l'area di campo da difendere a terra quando esiste una buona correlazione "muro-difesa".

Tre sono le componenti fondamentali per l'effettuazione di un muro efficace:

- presupposti di carattere attentivo e cognitivo sono la capacità di osservazione della ricezione avversaria, la lettura della gestualità del palleggiatore e l'osservazione dell'attaccante;
- da un punto di vista biomeccanico i punti chiave sono la velocità di spostamento laterale, la frontalità a rete e la verticalità del salto, l'elevazione, la penetrazione delle braccia oltre la rete e la manualità per controllare il piano di rimbalzo così creato oltre la rete;
- il parametro coordinativo determinante che unisce i due precedenti aspetti è la scelta del tempo di salto.

In questo studio ci si è dedicati esclusivamente all'analisi dei parametri cinematici del salto a muro (tenendo ben presente anche l'applicazione tattica delle diverse tipologie di tecnica) ed in particolare del muro con spostamento e di alcuni esercizi speciali utilizzati in allenamento.

1.2.1 La tecnica

Scopo del muro è intercettare l'attacco avversario e respingerlo nel campo opposto al fine di ottenere il punto diretto ("muro attivo") ma anche di deviare la palla in alto o indietro nel proprio campo in modo tale da favorire l'intervento della difesa chiamato "muro passivo". Il muro "attivo" (STUFF BLOCK) è la tecnica di muro più aggressiva, va eseguito oltre la rete e ponendo le mani il più vicino possibile alla palla. In particolare per alzate basse o a filo di rete, l'atleta deve essere abile a piazzare le sue mani e "chiudere" la parte superiore della palla coprendola. Si deve penetrare oltre la rete il più possibile e rimanere più tempo che si può oltre la rete. L'obiettivo delle braccia a muro è quello di "andare incontro alla palla" e di "murarla" prima che passi la rete. Il muro "passivo"(SOFT BLOCK) invece è usato quando l'attaccante avversario possiede un vantaggio notevole sul giocatore a muro, e quando si è in ritardo. L'obiettivo di questa tecnica è quello di smorzare gli attacchi avversari e permettere alla difesa di eseguire il contrattacco. Eseguendo un muro passivo, i palmi delle mani devono entrambi essere parallele al nastro della rete e un po' piegati all'indietro con i polsi rilassati. Il muro passivo ha diverse applicazioni, ad esempio è utilizzato per

coprire parte del campo da un attacco eseguito con una specifica angolazione oppure per toccare la palla e rallentarne la velocità in modo tale da poter eseguire il contrattacco. Un'altra funzione importante del muro è coprire alcune aree del campo influenzando la direzione dell'attacco avversario e così riducendo l'area di campo che la propria difesa deve coprire.

POSTURA DI PARTENZA

Nella posizione di attesa l'atleta è in posizione comoda ed equilibrata, i suoi piedi sono posizionati uno vicino all'altro tanto quanto la larghezza delle spalle e perpendicolari alla rete circa 50 cm, da essa. Le braccia sono tenute leggermente più alte delle spalle, avambracci paralleli al suolo, mani parallele alla rete e dita ben aperte. La schiena deve essere eretta, le ginocchia leggermente piegate e la pianta dei piedi totalmente a terra.

GLI SPOSTAMENTI

Passo accostato: dalla posizione di partenza ci si sposta lateralmente mantenendo le spalle parallele alla rete, effettuando così un'abduzione della gamba in direzione dello spostamento, cui segue la seconda che si accosta alla prima. Risulta molto importante l'azione dei piedi ed in particolare per la successione tallone- pianta- punta e l'orientamento perpendicolare a rete di entrambi i piedi al momento del salto. Le braccia, pur rimanendo flesse e con le dita rivolte verso l'alto, accompagnano lo spostamento con uno slancio per basso-dietro e si estendono durante il salto.

Passo incrociato: la prima gamba a muoversi è quella opposta alla direzione dello spostamento (la destra per andare a sinistra) che "incrocia" l'altra passandole davanti. L'appoggio del piede avviene con un orientamento di 45° rispetto alla rete, in modo da favorire il richiamo della seconda gamba vicino alla rete. L'appoggio a terra della seconda gamba dovrebbe "idealmente" essere perpendicolare alla rete in modo da recuperare la frontalità, ma in realtà questo spesso non succede per cui la ricerca della posizione giusta avviene mediante l'azione del busto durante lo stacco e il salto. L'azione delle braccia è molto variabile: nelle descrizioni degli allenatori dovrebbero effettuare uno slancio per basso-dietro a gomiti flessi e mani in flessione dorsale in modo tale da non allontanarsi e favorire la penetrazione oltre la rete nel salto; in realtà spesso i giocatori slanciano le braccia estese come nella rincorsa d'attacco e poi le avvicinano a rete accompagnando la torsione del busto. Spesso si crea così uno spazio molto grande tra braccia e rete e la palla si infila o il giocatore a muro non riesce a controllare l'orientamento del piano di rimbalzo e la palla rimbalza in modo incontrollato (l'attaccante realizza il punto attraverso un "mani-fuori").

Due passi accostati: il giocatore si muove con lo stesso piede nella direzione di spostamento, richiama la seconda gamba, apre di nuovo con la prima, accosta la seconda e infine salta in modo da avere sempre frontalità all'attaccante e alla rete.

Passo accostato-incrociato: è una tecnica considerata caratteristica dei centrali nello spostamento verso l'ala, ma spesso anche dalle ali nello spostamento verso l'asta che delimita lateralmente lo spazio di rete utilizzabile. L'appoggio a terra del primo piede (l'apertura laterale) avviene ad una distanza da rete, nella direzione dello spostamento che permette alla seconda gamba di avere più spazio a disposizione per incrociare. L'appoggio di questa a terra avviene (sempre secondo l'ideale descrizione degli allenatori) con un orientamento di 45 gradi rispetto alla rete in modo da favorire il richiamo della prima gamba il più vicino possibile a rete e il recupero della frontalità. Si ha in questo tipo di spostamento una notevole perdita di frontalità che viene compensata da un'anticipata torsione del busto al momento dell'appoggio del secondo piede durante lo stacco e il salto. Il contromovimento delle braccia è più ampio (data anche la maggiore distanza dello spostamento) e dovrebbe comunque essere effettuato, come nello spostamento semplice, a braccia flesse con le dita sempre rivolte verso l'alto. Uno degli errori che si notano più spesso è invece che le braccia vengono distese con conseguenti maggiori difficoltà a recuperare penetrazione e frontalità a rete.

Accostato- incrociato-accostato: è lo spostamento che nel settore femminile si utilizza più frequentemente per la rapidità di spostamento che lo caratterizza. È il tipico spostamento della centrale verso le ali. L'apertura laterale della prima gamba (la stessa della direzione di spostamento) avviene leggermente staccata da rete in modo da favorire l'"incrocio" della seconda gamba, segue poi un balzo laterale e il salto verticale. Questa tecnica favorisce un maggiore utilizzo delle capacità elastiche ed è anche per questo che trova maggiore applicazione tra le donne, dotate di minori capacità di forza massima. Lo slancio delle braccia è ampio ed è effettuato comunque a braccia flesse e dita rivolte verso l'alto.

Tutti passi accostati: è quello spostamento che viene utilizzato nella maggior parte dei casi su una palla alta scontata per cui i giocatori e le giocatrici hanno tutto il tempo di mantenere frontalità all'avversaria. Si verifica spesso nelle situazioni di muro a tre.

Corsa e salto: il giocatore si gira verso la direzione di spostamento e di corsa avanti va a effettuare un arresto e salto dopo aver ruotato il busto verso la rete e slanciando le braccia in alto. Questa tipologia di spostamento è forse la meno efficace in termini di efficienza tecnico-tattica e presuppone un grosso controllo del movimento in quanto

spesso il giocatore rischia di fare invasione (il regolamento vieta di toccare la rete) o di arrivare male orientato con le mani sopra la rete favorendo il “mani-fuori avversario.

IL SALTO

A volte si deve saltare per effettuare il muro direttamente dalla postura di partenza, altre volte si riesce ad essere in anticipo di fronte all’attaccante avversario e si effettua così un salto verticale sul posto, frequentemente il salto segue lo spostamento senza soluzione di continuità.

I movimenti per effettuare il salto prevedono dapprima un contromovimento: si deve per prima cosa abbassare il peso del corpo portando in basso le braccia, piegare le ginocchia a circa 90° e flettendo le anche. Importante è la capacità di chiusura dell’angolo alla caviglia, la mobilità dell’articolazione tibio-tarsica. Durante questi movimenti di compressione l’atleta a muro deve tenere il busto eretto e gli occhi sulla palla. Poi salta verticalmente cercando di raggiungere la massima altezza. Dopo lo stacco le braccia vengono estese e si protendono in avanti-alto con un angolo che permette di penetrare lo spazio aereo sopra la rete. Gli arti superiori non devono estendersi verticalmente sopra il capo per poi essere portati in avanti con un movimento verso il basso. Con questa tecnica si rischiano invasioni a rete o muri fuori tempo. Le braccia devono essere tenute tese e parallele fra loro con una distanza tra le stesse inferiore all’ampiezza della palla. Le dita devono essere aperte con i pollici che si tendono l’uno verso l’altro e i palmi leggermente rivolti verso il basso. In caso di muro d’ala si deve tenere la mano esterna rivolta verso il centro del campo avversario in modo tale da indirizzare il piano di rimbalzo verso il centro del campo avversario. I polsi devono essere tenuti rigidi e pronti al contatto con la palla. Il grado della loro flessione dipende dai tipi di muro: per un muro attivo i polsi devono essere orientati leggermente verso il basso; per un muro passivo o di contenimento i polsi devono essere flessi all’indietro per favorire il rimbalzo della palla verso l’alto.

All’apice del salto, appena prima di entrare in contatto con la palla, si devono contrarre i muscoli delle spalle e dell’addome. Questa azione fornisce la stabilità necessaria a resistere all’impatto con la palla. Le gambe devono essere tenute tese e protese in avanti per controbilanciare l’azione del busto; portando avanti le ginocchia flesse, si abbasserebbero il bacino e le spalle limitando di conseguenza l’altezza raggiungibile con gli arti superiori.

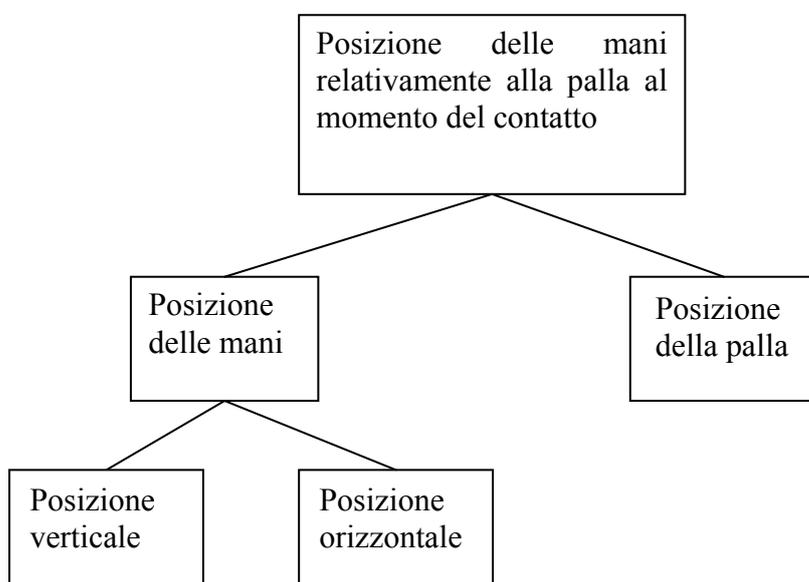
Le mani devono essere poste nella posizione corretta e tenute bloccate; in questo caso la palla devierà nel modo e nell’angolo desiderato.

1.2.2 Il modello deterministico di Peter Vint e l'analisi di Marcus Tilp

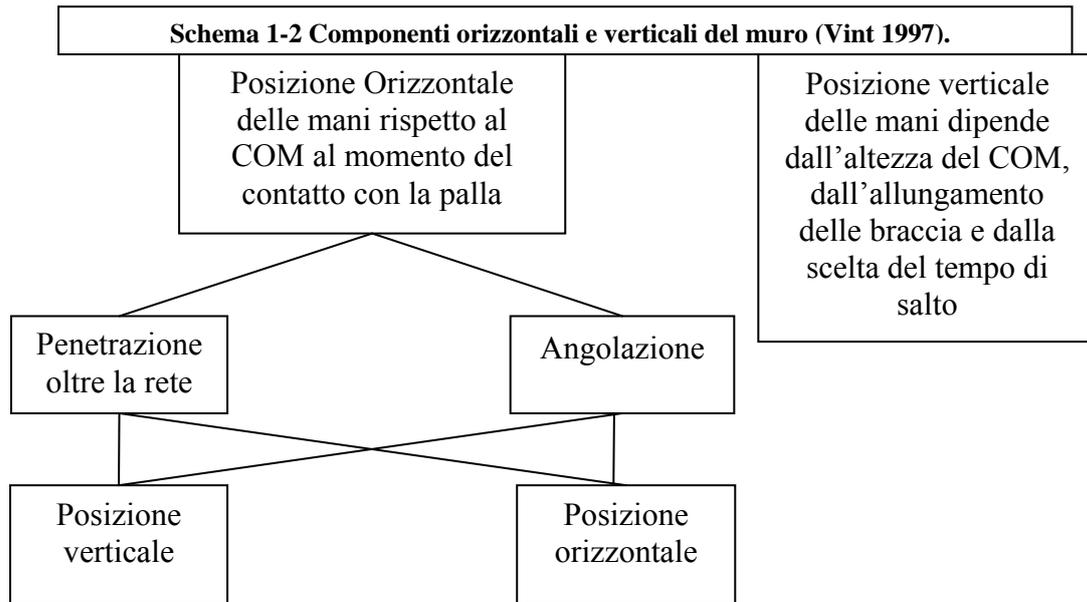
(Vint, 1997) nel suo Project Work “Qualitative Analysis of a Volleyball Blocking Performance” ha costruito un modello deterministico (come proposto da (Hay and Reid, 1988) che mette in relazione tutti i fattori determinanti la prestazione di muro.

Dapprima segnala come componente determinante il posizionamento delle mani al momento del contatto con la palla secondo il seguente schema (modificato).

Schema 1-1 Componenti fondamentali di una prestazione di muro (Vint, 1997).



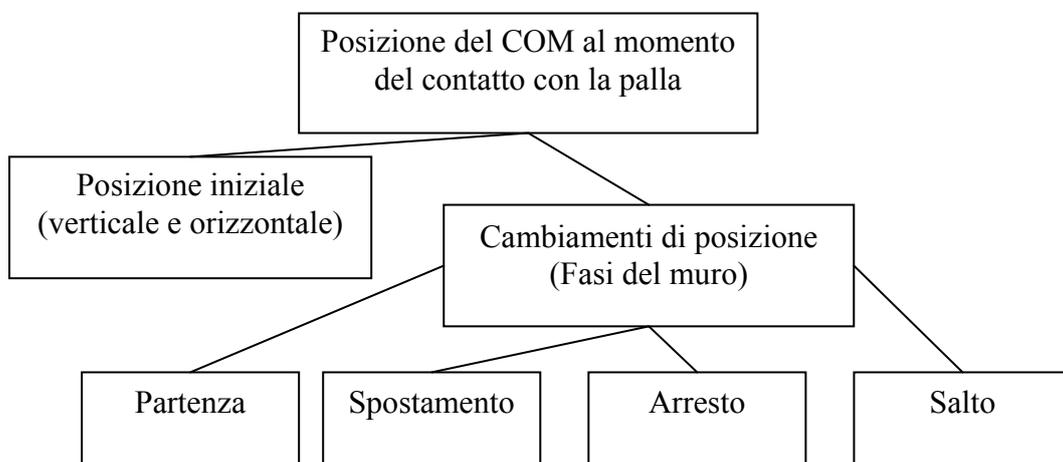
Tra le componenti che determinano la posizione orizzontale delle mani Vint considera poi la posizione relativa delle mani rispetto al Centro di Massa (COM) del giocatore e la posizione di questo nella varie fasi del movimento.



Si intende per Penetrazione (oltre il piano della rete) l'angolo che le braccia formano con il piano della rete attraverso un movimento di anteposizione sul piano sagittale e per Angolazione l'angolo che le braccia formano sul piano frontale. Tali caratteristiche tecniche si apprezzano osservando l'atleta posizionandosi lateralmente allo stesso vicino alla rete per la Penetrazione e posteriormente al giocatore per l'Angolazione.

La posizione delle mani comunque oltre che da queste componenti relative all'azione degli arti superiori dipende prevalentemente dalla posizione del COM nelle varie fasi del movimento sia per quel che riguarda la componente verticale che per quella orizzontale.

Schema 1-3 Componenti orizzontali e verticali del COM nella prestazione di muro (Vint 1997).



Marcus Tilp (Tilp, 2004) nel suo “Biomechanische Aspekte des Volleyballspielsprung, Schlag un Ballflugbahn” riprende quanto espresso da Vint e sottolinea come nella fase di volo del salto a muro il momento cinetico resti costante. Il movimento delle braccia in avanti oltre la rete deve essere compensato da un'altra parte del corpo: la flessione delle anche e l'avanzamento delle gambe. Nella fase di ricaduta è sufficiente, data la maggiore massa delle gambe rispetto alle braccia, una piccola estensione delle anche per compensare il movimento di ritorno delle braccia indietro e non toccare la rete. Se il salto non è verticale ma vi sono movimenti di rotazione o di scorrimento le braccia e le gambe saranno impegnate a compensare tali movimenti e non potranno posizionarsi a formare un buon piano di rimbalzo. Spostamento e salto devono perciò essere effettuati ricercando la frontalità a rete al momento dello stacco e la verticalità del salto riducendo il più possibile la componente orizzontale.

2 ANALISI CRITICA DELLO STATO DELL'ARTE NELL'ANALISI BIOMECCANICA DEL MURO NELLA PALLAVOLO

2.1 *L'utilizzo delle tecniche in partita*

Molte sono le componenti che costituiscono l'esecuzione di un salto a muro nella pallavolo: si hanno infatti esecuzioni di salti verticali (con e senza contromovimento) e di salti preceduti da spostamenti laterali.

In particolare da uno studio effettuato analizzando dei filmati di partite di serie A1 delle Leghe Professionistiche Italiane (16 del campionato femminile e 15 di quello maschile) si sono ottenuti i risultati riportati in tabella 1 che mostrano l'utilizzo percentuale delle varie tecniche di muro in situazione di gioco.

Tabella 2-1 Utilizzo percentuale delle tipologie di salto a muro in serie A1 maschile e femminile

Block Movements / Tipologia di MURO	Maschile		Femminile	
	Totale	%	Totale	%
slide (SS) / accostato	1093	32.2	829	28.7
cross (CS) / incrociato	1086	32.0	126	4.4
slide-cross / accostato-incrociato	129	3.8	70	2.4
slide-cross-slide / accostato-incrociato-accostato	6	0.3	447	15.6
all slide (2 or more) / solo accostati	449	13.1	706	24.4
Running steps / corsa e salto	97	2.8	122	4.2
Vertical jump / salto verticale	530	15.7	584	20.2
Totale	3390		2884	

Nel campionato femminile il passo accostato è la tecnica più utilizzata sia come passo singolo (29%) che doppio (24%) in particolare dalle ali mentre tra i centrali la preferenza è per la combinazione accostato-incrociato-accostato. Le donne utilizzano l'ultimo passo accostato come un prebalzo molto rapido che sfruttando il ciclo stiramento-contrazione e la componente elastica muscolare permette di raggiungere una elevazione maggiore. La percentuale di salti verticali nei quali evidentemente il

giocatore ha scelto tatticamente in anticipo la corretta posizione in cui saltare è risultata del 20%.

Si nota come nel campionato maschile l'utilizzo dei passi base (accostato ed incrociato) sia equivalente (32%) e il posizionamento anticipato sul posto per l'effettuazione del muro con salto verticale avvenga nel 16% dei casi..

I dati raccolti sono stati analizzati anche per ruolo e confrontati attraverso la statistica non parametrica applicando il test del χ^2 (Chi quadro) verificando l'ipotesi di uguaglianza di distribuzione tra maschile e femminile per quel che riguarda il numero di muri per ruolo (posizione a rete) e nell'utilizzo delle tecniche di spostamento. Inoltre sono stati confrontati il numero di muri effettuati dai giocatori d'ala, ipotizzando lo stesso numero di alzate in avanti e all'indietro da parte dell'alzatore, e le differenze nell'utilizzo dei passi da parte dei centrali, in relazione alla direzione di spostamento. I risultati hanno mostrato differenze significative ($p < 0.001$). Spostandosi lateralmente i centrali nella pallavolo femminile utilizzano più passi rispetto ai maschi, le donne quando murano all'ala utilizzano maggiormente il passo accostato mentre gli uomini preferiscono l'incrociato (Lobietti and Merni, 2007).

Una ricerca analoga condotta analizzando 4 partite maschili e 4 femminili nel campionato di serie B1 ha invece mostrato i seguenti risultati:

Tabella 2-2 Utilizzo percentuale delle tipologie di salto a muro in serie B1 maschile e femminile

Block Movements / Tipologia di MURO	Maschile		Femminile	
	Totale	%	Totale	%
slide (SS) / accostato	555	33.6	617	32.9
cross (CS) / incrociato	409	24.7	192	10.2
slide-cross / accostato-incrociato	124	7.5	195	10.4
slide-cross-slide / accostato-incrociato-accostato	26	1.6	251	13.4
all slide (2 or more) / solo accostati	172	10.4	271	14.5
Running steps / corsa e salto	17	1.0	35	1.9
Vertical jump / salto verticale	351	21.2	317	16.9
Totale	1654		1875	

Nel campionato femminile di serie B1 il gioco risulta più lento rispetto all'A1 con uno scarso utilizzo dell'attacco dalla seconda linea.

Il passo accostato è ancora la tecnica più utilizzata (33%). e l'utilizzo del passo incrociato singolo o come passo finale di uno spostamento è più frequente rispetto alla serie superiore (20,6% contro 6,8%): possiamo spiegare questa tendenza di comportamento delle centrali che, per scelta tattica, possono anticipare lo spostamento verso destra in zona 4, in quanto non devono aspettare l'eventuale alzata in seconda linea.

Anche nel campionato maschile di serie B1 il gioco prevede un maggiore utilizzo della palla alta e risulta quindi più prevedibile. Questa caratteristica unita alle minori dimensioni antropometriche degli atleti (sono mediamente più bassi) comporta più frequentemente l'utilizzo di più di un passo: aumenta perciò la percentuale di passi accostato-incrociato (9,1% contro 4,1%), specie da parte dei centrali, e la percentuale di salti verticali (21,2% contro 15,7%), specie da parte delle ali, che possono anticipare il posizionamento e saltare sul posto più spesso.

In conseguenza dell'utilizzo delle tecniche nel gioco e della disponibilità di nuovi strumenti per l'analisi cinematica dei movimenti sportivi l'interesse dei ricercatori per la biomeccanica del muro ha seguito due filoni: l'analisi delle tecniche utilizzate per gli spostamenti laterali e lo studio del salto verticale.

2.2 Le ricerche sugli spostamenti laterali a muro

I primi studi limitati ad un'analisi di tipo temporale si devono a Cox (1978, 1980 e 1982).

Nel primo studio (Cox, 1978) ha confrontato i tempi di spostamento a seconda del tipo di tecnica utilizzata.

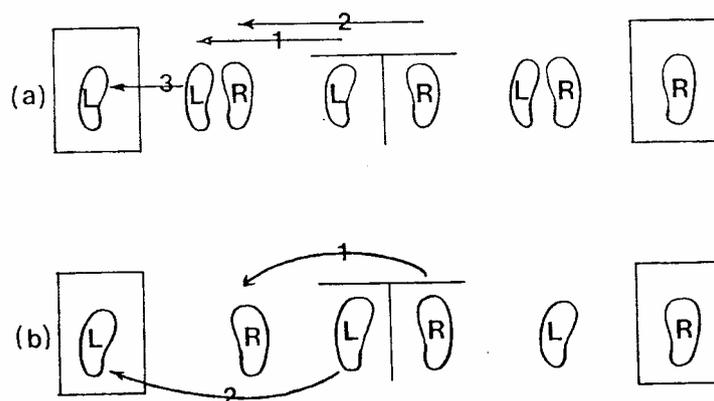
Metodi

L'apparato usato era costituito da due pedane sensibili alla pressione posizionate sul pavimento alla distanza di 270 cm e collegate ad un computer. Il tempo veniva misurato dallo start dato con uno stimolo visivo dal momento di partenza da una pedana all'arrivo sull'altra.

Soggetti e Procedure

45 uomini, non giocatori di pallavolo, sono stati sottoposti a 5 giorni di allenamento e hanno poi eseguito degli spostamenti laterali utilizzando diverse tipologie di spostamento: lo slide (accostato con pre-balzo, SS) , il cross-over (incrociato, CS) e il jab cross-over (accostato-incrociato JC).

Figura 2-1 Movimenti dei piedi nello slide(a) e nel cross-over (b) e nel jab cross-over (by Cox)



Risultati

I valori medi riscontrati sono stati di 1.284 sec, di 1.329 sec e 1.349 sec rispettivamente. L'analisi statistica ha mostrato differenze significative e si è potuto affermare che il passo accostato è più veloce di quello incrociato.

Discussione

Prima si raccomandava l'uso del passo incrociato piuttosto di quello accostato perché sembrava essere più rapido; con questo esperimento Cox ha invece dimostrato il contrario.

Considerazioni

Si devono considerare prima di tutto quali limiti di questo studio che i soggetti esaminati non erano pallavolisti, che il tempo di reazione e di spostamento non vengono distinti nell'analisi e che non viene effettuato il salto alla fine dello spostamento come avviene nella realtà del gioco.

Col secondo studio (Cox, 1980), ha proseguito la sua analisi chiedendosi:

- “Posto che il passo accostato sia più rapido, esso è efficace anche nell'insegnamento del muro?”

- “Con quale delle tecniche esaminate è più facile trasformare la velocità di spostamento laterale in salto verticale?”
- “I risultati sono gli stessi se si svolgono studi su giocatori esperti?”.

Perciò l’obiettivo principale della nuova ricerca su giocatori esperti è stato conoscere se esistono delle relazioni tra il tempo di reazione e il primo appoggio sulla pedana adeguatamente predisposta; obiettivo secondario è stato invece quello di determinare se uno dei modelli può essere superiore agli altri. In particolare è stata studiata la velocità del cross-over (CS), dello slide (SS) e di quello “preferito” (P), ipotizzando che quest’ultima tecnica sia quella maggiormente utilizzata in una normale situazione di gara da parte di ciascun giocatore.

Nella figura Fig. 1 sono mostrate le sequenze di passi. Si può notare che mentre lo spostamento a passo accostato (SS) così come descritto da Cox (a) richiede tre appoggi quello a passo incrociato (b) ne richiede solo due.

Metodi

Cox ha utilizzato due dispositivi di analisi automatica per rilevare il tempo di reazione ponendo sul pavimento due pedane elettriche i cui centri distavano 140 cm l’uno dall’altro. Inoltre egli ha utilizzato un display centrale posto a 210 cm di altezza e due stimoli visivi laterali alla distanza di 46 cm dal display; gli atleti dovevano spostarsi verso il punto in cui si accendeva la luce. Pertanto i dispositivi hanno calcolato la distanza temporale tra la presentazione dello stimolo e l’istante in cui il piede effettua l’appoggio sulla pedana.

Soggetti

La ricerca si è basata su 30 giocatori (22.2 ± 3.4 anni, 183.5 ± 7.8 cm) e 12 giocatrici (19.1 ± 1 anni, 173.1 ± 7.8 cm) il cui livello tecnico (Qualificati per il campionato nazionale della USA Volleyball Association) è paragonabile alle categorie inferiori della Federazione Italiana Pallavolo. I soggetti sono stati divisi nel seguente modo: due gruppi di 15 maschi e due gruppi di 6 femmine.

Procedure

Tutti i soggetti sono partiti da una posizione frontale rispetto ai due led luminosi laterali e centrale rispetto alle due pedane. La distanza del display dal giocatore è stata di 176 cm e i giocatori dovevano fissare lo sguardo al centro dell’apparato tra le due luci. La postura di partenza scelta è stata quella tipica del giocatore a muro in lettura con il peso sugli avampiedi, le gambe piegate ad un angolo “comodo” del ginocchio, i piedi alla stessa distanza delle spalle, le braccia flesse al gomito e le mani all’altezza del viso.

Durante le prove ogni soggetto ha ricevuto 12 stimoli per spostarsi 6 volte a destra e 6 a sinistra per ciascuno dei tre metodi di spostamento. Inoltre ogni soggetto ha avuto a disposizione 4 prove pratiche prima delle 12 prestazioni oggetto di studio. Per controllare il possibile effetto di affaticamento e di apprendimento sono stati creati 2 gruppi maschili e 2 femminili che hanno eseguito le prove secondo due tipi di ordine (PCS e PSC).

Risultati

Cox riporta che la tecnica preferita è stata assimilabile al passo incrociato (CS) per il 60% degli uomini e il 33.3% delle donne; che il 20% degli uomini e nessuna donna ha utilizzato l'accostato (SS) mentre il 20% degli uomini e il 66.6% delle donne preferisce tecniche che combinano le due principali tipologie di passo tra loro in modo intercambiabile.

I risultati medi ottenuti, distinti tra maschi e femmine e tra spostamenti verso destra e verso sinistra, sono riportati nella tabella 3 e nella figura 2.

Tabella 2-3 Risultati medi degli atleti di Cox (1980) in base alla tipologia e alla direzione e al sesso

Metodo	Direzione	Tempo di reazione (sec)
		Maschi
Preferito (P)	sinistra	1.269 ± 0.086
	destra	1.284 ± 0.082
Accostato (SS)	sinistra	1.279 ± 0.110
	destra	1.287 ± 0.100
Incrociato (CS)	sinistra	1.317 ± 0.102
	destra	1.318 ± 0.104

Il disegno sperimentale prevedeva un'analisi di varianza a 3 (tecniche) x 2 (direzione) x 2 (sesso) x 2 (ordine) fattori ha mostrato differenze significative ($\alpha = 0.05$) tra le tecniche e tra i sessi ma non tra direzioni e ordine delle prove. Solo tra tecnica e direzione di spostamento l'interazione è risultata significativa ($p < 0.02$).

Il confronto tra tecniche utilizzate quando lo spostamento è verso sinistra ha mostrato differenze significative ($p < 0.001$) tra SS e CS, tra P e SS, ma non tra SS e P. Lo stesso risultato è stato ottenuto quando lo spostamento è stato effettuato verso destra.

Si può notare che pur se non in modo significativo tra i maschi tutte le tecniche sono risultate più rapide verso sinistra (nel caso del CS i tempi di reazione sono stati praticamente uguali) mentre tra le donne sono stati ottenuti tempi migliori verso sinistra

tanto per gli spostamenti preferiti (P) quanto per quelli a passo accostato (SS), viceversa la situazione si inverte nel caso del passo incrociato (CS).

Discussione

Anche in questo studio Cox è giunto alla conclusione che esiste una relazione tra tempo di risposta e tipo di tecnica di spostamento laterale: il passo accostato (SS) è risultato più veloce di quello incrociato (CS). Pur sottolineando che in generale non esistono differenze significative tra direzioni, sottolinea che il passo preferito (P) è risultato più veloce verso sinistra ed afferma che non esiste una spiegazione per questa “anormalità”.

Considerazioni

Limiti di questo studio e delle conclusioni cui Cox è pervenuto:

- I movimenti sono stati eseguiti su distanze predeterminate (ricordiamo che le pedane erano poste a 140 cm di distanza l'una dall'altra) da atleti dalle diverse caratteristiche antropometriche. E' ipotizzabile che alcuni atleti faticassero più di altri ad eseguire un certo numero di passi (peraltro anch'esso predeterminato) su tali distanze, aumentando così il tempo di esecuzione della prova.
- La scelta di Cox di analizzare lo spostamento preferito (P) senza precisare esattamente quale tecnica sia stata usata e soprattutto senza analizzare eventuali differenze in questa scelta a seconda della direzione nello spostamento non permette di considerare come importanti le sue considerazioni relative a questo tipo di passo. Posso supporre che nello spostamento i maschi abbiano preferito il passo incrociato (CS) verso sinistra e l'accostato (SS) verso destra mentre tra le donne la combinazione accostato-incrociato-accostato sia la tecnica preferita verso destra e tutti accostati verso sinistra così come risultato dall'analisi delle partite (Lobietti and Merni, 2007).
- Per effettuare il muro in modo efficace non è sufficiente spostarsi rapidamente da un punto ad un altro, allo spostamento deve seguire un salto verticale (“jump and reach”) che permetta di fermare l'attacco avversario e Cox si è limitato all'analisi dello spostamento.
- Questo studio limitato al confronto tra tecniche di spostamento laterale in risposta ad uno stimolo visivo sarebbe stato molto più aderente alla realtà delle situazioni di gioco se ci si fosse prefisso di analizzare gli spostamenti difensivi invece del muro. In tal caso la postura di partenza scelta dovrebbe essere quella bassa della difesa e il display per dare il segnale d'inizio più lontano (6,5 – 7,5 m ad esempio per simulare gli spostamenti del difensore di zona 6).

Nel 1982 Cox con l'aiuto di altri autori riconosce alcuni limiti degli studi precedenti e propone un terzo studio nel quale modificando il protocollo aggiunge il salto alla fine dello spostamento laterale.

Lo scopo di questa ricerca è stato di analizzare la relazione tra alcune variabili temporali nell'esecuzione del muro.

Soggetti

Sono state filmate delle esecuzioni di giocatori di pallavolo esperti (livello universitario statunitense paragonabile alla nostra serie B): 3 uomini (Sog.A di 31 anni e 182.7 cm; Sog.B di 21 anni e 180.5 cm; Sog.C di 21 anni e 180 cm) e 3 donne (Sog.D di 20 anni e 183.3 cm; Sog.E di 19 anni e 180.3 cm; Sog.F di 19 anni e 179 cm). I due gruppi risultavano perciò omogenei per caratteristiche antropometriche e divisi equamente tra i due sessi.

Metodi e procedura

2 cineprese da 16 mm alla frequenza di 100 Hz sono state posizionate frontalmente alla rete nel campo opposto rispetto al giocatore col focus centrato sulla posizione di salto in modo da permettere l'analisi in 2D degli spostamenti. Delle due cineprese quella posizionata in zona 4 nel campo è deputata all'analisi degli spostamenti verso destra e l'altra posizionata in zona 2 di quelli verso sinistra. Sul corpo di ogni soggetto sono stati posti dei marker nei punti di reperi articolari in modo da poter essere facilmente individuati nei filmati. A partire dai marker che individuano le anche, il vertex della testa e le spalle è stato possibile calcolare il centro di gravità testa-tronco (HTCG) e il COM di tutto il corpo secondo le indicazioni di Dempster e Johnson (Dempster, 1955; Johnson, 1977).

La linea orizzontale di riferimento viene predeterminata per ogni soggetto e per ogni direzione al 90% della media delle altezze raggiunte dal HTCG nei tre tipi di spostamento. Il 90% è stato scelto perché si è verificato che indipendentemente dal tipo di spostamento e dalla direzione tale linea viene sempre superata.

Nell'individuazione degli eventi e per misurare le durate delle varie fasi temporali (contando il numero di fotogrammi tra gli eventi e considerando 10 msec per fotogramma le durate possono essere misurate in msec) si è fatto riferimento alle seguenti definizioni (vedi Fig. 2-2):

- tempo totale di spostamento del centro di gravità del tronco: dal momento di arrivo del piede esterno nell'area target (D) al momento in cui il centro di gravità del tronco supera la linea orizzontale di riferimento (C).

- tempo di contatto per il salto: dal momento di arrivo del piede esterno nella posizione di salto allo stacco di entrambi i piedi per il salto
- fase di spinta: dal momento in cui il COM inizia salire in modo continuo al momento di stacco dei due piedi. Questa durata è stata calcolata per ogni soggetto in ogni salto.
- durata del caricamento: dal momento di arrivo del piede esterno nell'area target (D) e il momento in cui il COM inizia salire in modo continuo. E' stato calcolato come differenza tra il tempo di contatto del piede esterno con la target area e la fase di spinta.
- durata del tempo di volo parziale: dallo stacco al momento in cui il centro di gravità del tronco supera la linea orizzontale di riferimento (C).

Figura 2-2 Le fasi del muro in riferimento al centro di gravità del tronco (HTCG). Nella stazione eretta (A), alla massima elevazione nei tre tipi di spostamento (B_i). Sono inoltre riportati l'area -target di stacco per il salto verticale e la linea orizzontale di riferimento (C).

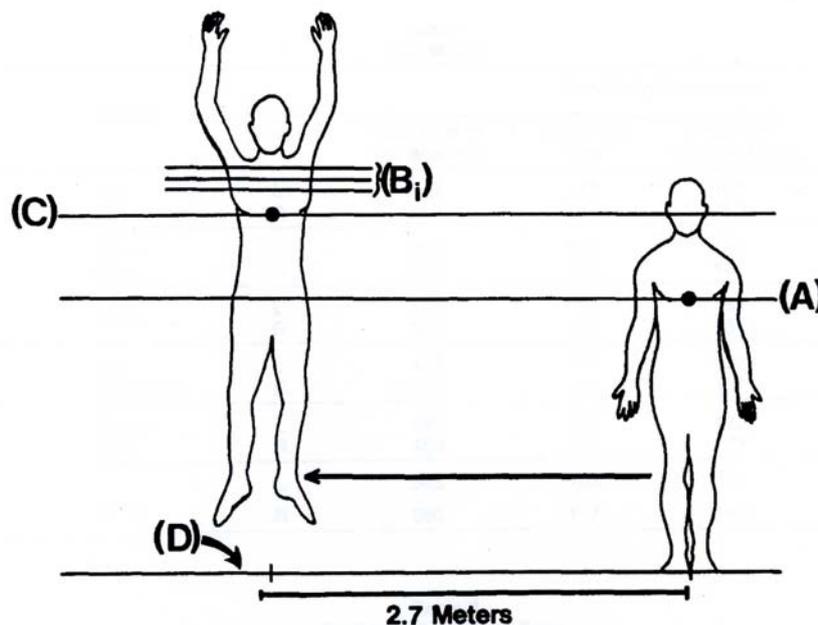


Figure 3—Head-trunk segment center of gravity while standing (A), at maximum vertical displacement using three step methods (B_i), and while passing through the pre-determined standard (C). Arrow D represents the target surface and takeoff spot of outside foot.

I passi analizzati sono stati gli stessi dello studio del 1978: lo slide step (SS), il cross-over (CS) e il jab cross-over (JC). Il soggetto posizionato al centro della rete alla distanza di circa 30 cm dalla rete in postura di partenza del muro rispondeva ad uno stimolo visivo costituito dalla mano di uno degli sperimentatori che indicava la direzione di spostamento. La posizione “target” di salto distava 270 cm da quella di partenza ed era stata segnata sul terreno con del nastro adesivo. Ogni soggetto è stato

filmato tre volte per ogni tipo di spostamento e direzione ma per l'analisi si è selezionata solo la prova migliore di ciascuna tecnica. Il criterio scelto per questa selezione è stata la verticalità del salto in quanto considerato dagli allenatori come un aspetto determinante l'efficacia del muro.

I dati raccolti sono stati elaborati attraverso il conteggio dei fotogrammi tra gli eventi individuati nei filmati. Sono state selezionate le prove migliori secondo il criterio scelto e calcolate le medie (riportati e rielaborati per quel che riguarda il tempo di contatto nelle tabelle 4 e 5) per ogni variabile dipendente individuata.

Preliminarmente sono stati adottati test di normalità (analisi degli estremi residui) e di omogeneità di varianza (test di Bartlett) che non hanno permesso di rifiutare l'ipotesi di non differenza per tutte le variabili analizzate. Perciò nonostante l'esiguo numero di soggetti (N=6) si è proceduto ad adottare l'analisi di varianza a 3 (tecniche) x 2 (direzione) x 2 (sesso) fattori con repliche come modello sperimentale. E' stato scelto un livello $\alpha = 0.05$ per tutti gli F-test.

Risultati

Il tempo totale, la fase di caricamento e di spinta hanno mostrato differenze significative tra le tecniche, mentre la fase parziale di volo è risultata differire in modo significativo per la direzione di spostamento. In questo caso la media residua è risultata di 201 msec verso sinistra e di 174 msec verso destra. L'analisi successiva con l'applicazione del Duncan Multiple Range Test ha mostrato attendibili differenze tra le tre tecniche per quel che riguarda il tempo totale e il caricamento mentre la fase parziale di volo ha mostrato differenze significative tra jab Cross-over e le altre due tecniche ma non tra slide e cross-over.

Tabella 2-4 Valori medi ottenuti dai tre soggetti maschi nelle tre tecniche nelle due direzioni.

Genere	Passo	Direzione	Tempo totale (msec)	Durata caricamento (msec)	Durata Spinta (msec)	Tempo di volo parziale (msec)
Uomini	Jab	sinistra	443	67	167	210
		destra	440	63	160	217
	Cross	sinistra	513	127	183	203
		destra	460	117	187	157
	Slide	sinistra	500	97	180	223
		destra	530	190	180	160
Donne	Jab	sinistra	447	97	167	183

		destra	426	93	167	167
	Cross	sinistra	490	123	173	193
		destra	450	117	177	157
	Slide	sinistra	543	163	187	193
		destra	560	177	193	190

Discussione

I risultati hanno permesso di affermare che esiste una relazione tra le variabili selezionate e le tecniche di spostamento laterale.

Il jab cross-over step è risultato essere la tecnica migliore: perciò il movimento è risultato essere più rapido (il tempo necessario all'atleta per raggiungere col centro di gravità del tronco la linea di riferimento è risultato significativamente minore a parità di distanza da percorrere) e queste differenze possono essere individuate nella fase di caricamento e di spinta. Cox e collaboratori hanno attribuito questo risultato alla dinamica di questo tipo di tecnica che prevede tre appoggi anziché due e hanno sottolineato come il secondo piede sia già in movimento quando il piede esterno arriva sulla target area. Inoltre come hanno mostrato i risultati il tempo di caricamento è risultato estremamente minore (in molti casi vicino allo zero!). Gli autori hanno argomentato che queste conclusioni sono state apparentemente in contrasto con quelle dello studio del 1978 e del 1980 che avevano individuato lo slide come il più veloce tipo di spostamento laterale: una grossa quantità di tempo è necessaria alla fase di caricamento e di spinta per permettere all'atleta di fermarsi e trasformare la velocità orizzontale in salto in verticale. Inoltre era già noto dagli studi sul salto verticale (vedi 1.2.2) che l'elevazione maggiore si ha in associazione col minore tempo di contatto: questo è composto dalla fase di caricamento e dalla fase di spinta che sono risultate significativamente più brevi nel caso del jab cross-over.

Le differenze tra direzioni riscontrate per qualche riguarda il tempo di volo parziale ovvero la velocità di salto verticale che è risultata maggiore nel caso di spostamento a destra non sono state spiegate dagli autori.

Considerazioni

In questo studio sono state analizzate alcune variabili temporali relative alla fase di salto verticale a muro in successione ad uno spostamento laterale. I risultati ottenuti e le conclusioni sono in accordo con l'opinione di molti allenatori. Gli autori non hanno messo in discussione i risultati precedenti relativi al solo spostamento ma hanno analizzato l'effetto del tipo di spostamento sulla fase di caricamento, della spinta e sulla

velocità verticale di uscita del salto: dai dati pubblicati non è possibile escludere (non avendo raccolto i dati) che per questi giocatori (di livello tecnico superiore rispetto a quelli dello studio del 1980) il jab cross-over potesse risultare come il più veloce anche nella sola fase di spostamento laterale. Purtroppo però questo studio non ha previsto una misura del tempo totale necessario a muoversi dal centro della rete fino all'area target completando la sequenza con il salto.

Nel 1989 degli autori coreani (Kwak C.S. *et al.*, 1989) hanno analizzato l'utilizzo delle diverse tecniche di spostamento selezionando lo slide e il cross (in quanto passi base del muro) per confrontarne le componenti biomeccaniche nelle esecuzioni degli atleti coreani e confrontarne i parametri anche in relazione al sesso.

Soggetti: : n° 10 uomini con 10 anni di esperienza pallavolistica e altezza media 183.6 cm e peso 77.9 Kg e 14 donne con 9.4 anni di carriera. di altezza media 174 cm e peso 67.3 Kg delle leghe professionistiche coreane.

Metodi e procedure

Sono stati realizzati dei filmati in 2D con una cinepresa da 16 mm e una frequenza di acquisizione a 100 Hz posizionata a 30 m dalla rete l'utilizzo contemporaneo con una pedana di forza (AMTI) ha permesso l'analisi anche di parametri cinetici.

I soggetti partivano dal centro della rete ad una distanza di 270 cm dalla pedana di forza posizionata in posto 2 vicino alla rete. Al segnale di via il soggetto si spostava lateralmente verso destra utilizzando una delle due tecniche selezionate e arrivato sulla piattaforma di forza effettuava il salto a muro. Per l'analisi dei dati fu scelta per ogni soggetto esclusivamente la prova più soddisfacente.

Attraverso una digitazione manuale della distanza percorsa dal COM dalla posizione di partenza a quella di arrivo sulla piattaforma e dividendo per il tempo trascorso è stata calcolata la velocità orizzontale. La massima velocità verticale espressa durante la fase di spinta (in genere precede di pochi msec il take-off) è stata calcolata come integrale dei dati di forza registrati dalla pedana al momento dell'inizio della spinta verso l'alto (t_1) fino allo stacco di entrambi i piedi (t_2) attraverso la formula $V = \int F(t) dt/m$.

Le acquisizioni sulla pedana di forza hanno permesso di distinguere le fasi del salto verticale in tre fasi temporali così definite:

- Fase di caricamento (On-weighting phase): dallo strike del piede destro al massimo caricamento del COM.

- Fase di spinta (Portioned Impulse phase): dal massimo caricamento del COM al take-off.
- Tempo di volo parziale (Portioned Free Flight phase) che consiste nella misurazione della fase di volo dallo stacco all'apice del salto: cioè la metà del tempo di volo normalmente misurato nei test di salto con Pedana piezoelettrica o Optojump.
- Il tempo totale di esecuzione del muro viene calcolato come somma delle tre fasi precedenti.

I risultati sono stati confrontati attraverso l'analisi varianza a 2 (tecniche) x 2 (sessi) vie con repliche.. E' stato scelto un livello $\alpha = 0.05$ di significatività per tutti gli F-test.

Risultati

Per quel che riguarda la velocità orizzontale espressa gli autori coreani riportano per i maschi $2,86 \pm 0,49$ m/sec per lo slide e $3,47 \pm 0,18$ m/sec per il cross, mentre per le donne i valori medi riscontrati sono stati $2,44 \pm 0,49$ m/sec e $3,47 \pm 0,18$ m/sec rispettivamente. Ne è risultato che gli uomini sono significativamente più veloci delle donne e mentre per gli uomini la velocità raggiunta con il passo incrociato è significativamente maggiore rispetto all'accostato, nelle donne avviene il contrario: sono più veloci con l'accostato ma questa differenza non risulta significativa ($\alpha=0,05$).

La massima velocità verticale riscontrata durante la fase di spinta è risultata essere pari a 3,14 m/sec nello slide step e a 3,64 m/sec nel cross over step nel caso dei maschi mentre nelle femminine si sono riscontrati un valore di 2,58 m/sec nello slide e 2,55 m/sec nel cross, L'ANOVA test ha mostrato una differenza significativa tra i sessi ($p<0,001$) ma non tra le tecniche utilizzate.

Nella descrizione dei picchi di forza misurati con la pedana gli autori coreani sottolineano come nello slide si individuino 2 picchi di forza all'appoggio (strike) del piede perno, all'appoggio di quello puntello cui segue una deflessione e poi il massimo picco di forza prima dello stacco. Nel cross invece si distinguono tre picchi di forza corrispondenti al piede perno, al puntello e infine al take-off. Si nota che la deflessione seguente al picco di forza di uno strike è di scarso valore nel caso del piede perno in entrambe le tecniche mentre nello slide al picco di forza corrispondente all'appoggio strike del piede puntello segue una deflessione della curva dovuta al contromovimento.

Variabili temporali

Nella tabella 2-5 sono mostrati i risultati e per tutte le fasi del salto sono state individuate differenze significative tra i due sessi. Tra i maschi ma non tra le femmine il tempo totale (Reaction Time secondo la nomenclatura utilizzata dagli autori coreani)

relativo alle prove col cross-over è risultato significativamente minore a confermare il movimento più veloce.

Più in particolare la fase di volo parziale (Portioned Free Flight Phase) non ha mostrato differenze significative tra le due tecniche né per i maschi né per le femmine.

La fase di caricamento risulta significativamente minore nel cross rispetto allo slide: tale differenza appare significativa tra i maschi ma non tra le femmine.

Tabella 2-5 Sono riportati i valori temporali medi relativi alle diverse tecniche utilizzate

Genere	Passo	Tempo totale (msec)	Tempo di contatto (msec)	Durata caricamento (msec)	Durata Spinta (msec)	Metà Tempo di volo (msec)
Uomini	Cross	568±48	269±47	109 ± 24	160 ± 23	300 ± 24
	Slide	681±85	391±90	173 ± 46	218 ± 44	291 ± 16
Donne	Cross	589±82	316±97	129 ± 52	187 ± 45	273 ± 31
	Slide	617±66	347±72	147 ± 33	200 ± 39	270 ± 26

Discussione

Gli autori concludono che con l'utilizzo del cross over si impiega meno tempo e si effettua un minore contromovimento nella fase di preparazione al salto.

Per quel che riguarda le velocità orizzontali espresse gli autori coreani giustificano le differenze riscontrate tra gli uomini e non tra le donne per il minor allenamento specifico delle donne nell'uso del passo incrociato. In conclusione gli autori coreani ipotizzano che il vantaggio temporale del passo incrociato sia dovuto al caricamento che porta le ginocchia ad essere già flesse al momento dello strike sulla pedana.

Considerazioni

Gli autori non precisano nell'articolo il metodo di digitazione né l'algoritmo di calcolo seguito per l'individuazione del COM.

Le variabili spaziali non sono state oggetto di questa ricerca che ha fissato a 2,70 m la distanza laterale da percorrere, ma non ha valutato in termini di elevazione il salto effettuato pur potendolo calcolare a partire dai dati raccolti con la pedana di forza.

Il tempo totale di esecuzione del muro è definito impropriamente Reaction Time in quanto nel loro articolo Kwack e collaboratori non indicano che i giocatori dovessero partire in risposta ad un segnale per l'effettuazione del muro.

La fase di volo parziale (Portioned Free Flight Phase) non ha mostrato differenze significative tra le due tecniche né per i maschi né per le femmine. Se teniamo conto che questa variabile esprime anche l'elevazione (sulla base del tempo di volo viene calcolata l'elevazione in tutti i test di valutazione del salto con pedana piezometrica o con optojump) possiamo considerare che l'analisi degli autori coreani va a confrontare anche le differenze tra le elevazioni raggiunte con i due tipi di tecnica: in sostanza affermano che il tipo di tecnica non influisce sull'altezza raggiunta col salto.

I valori di velocità orizzontale riportati si riferiscono ad una velocità media e sono confrontabili con quelli riscontrati dagli studi precedenti di Cox (1978; 1980) anche se si perviene a risultati contrastanti per i maschi coreani (sono più veloci con il cross-over) mentre Cox e Kwak concordano per le esecuzioni delle donne.

L'ipotesi degli autori coreani che nell'esecuzione del cross-over le ginocchia siano già flesse al momento dello strike e soprattutto che il salto sia effettuato con un minore contromovimento nella fase di spinta non è stato verificato nell'analisi dei filmati in quanto il posizionamento della telecamera ha permesso solo l'analisi in 2D del movimento sul piano frontale del giocatore, Per un'analisi di questo tipo sono necessarie ricostruzioni tridimensionali o perlomeno con un posizionamento laterale della cinepresa.

Nel 1991 Buekers (Buekers, 1991) ha cercato di superare i limiti degli studi precedenti, cercando di analizzare tutta la durata del muro dalla partenza all'arrivo delle mani sopra la rete.

Soggetti: : 10 giocatrici dai 18 ai 22 anni di livello nazionale della Federazione belga.

Metodi e Procedure

Come strumenti sono stati utilizzati due pedane di pressione distanziate tra loro 3 metri e un sistema di fotocellule posizionate 20 cm sopra e 5 cm oltre la rete (posizionata all'altezza di 2,24 m come nei campionati seniores femminili). Le pedane e le fotocellule collegate ad un computer hanno permesso la misurazione dei tempi necessari (in msec) alle atlete per spostarsi dalla pedana al centro (A) fino a quella posta in zona 2 (B) e all'arrivo delle mani sopra la rete. (Fig. 2-3).

Le giocatrici dopo essere saltate al centro, sulla finta di veloce, si spostavano rapidamente all'ala per effettuare un secondo salto a muro. Le tecniche confrontate sono state il passo accostato, l'incrociato e la corsa avanti. Di ogni atleta sono state acquisite

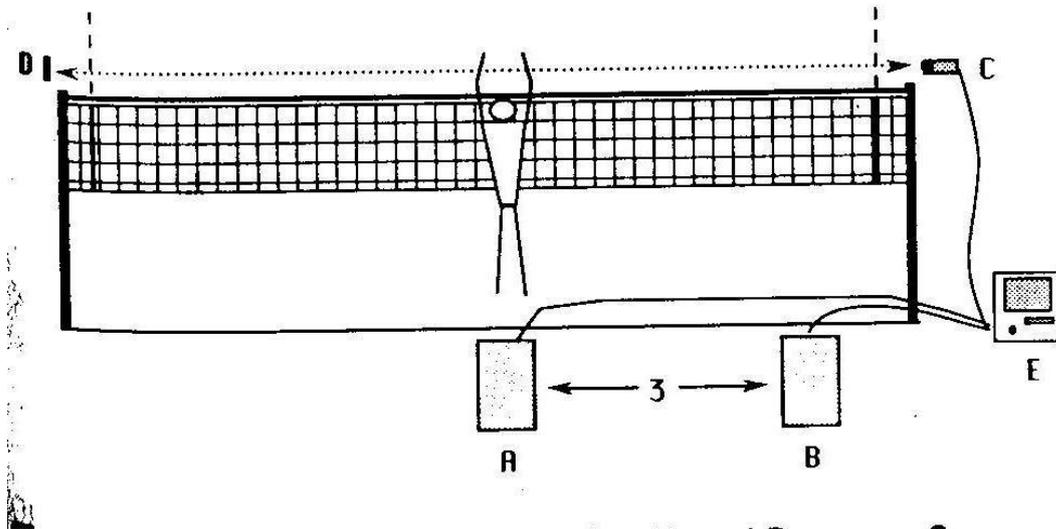
10 ripetizioni per ogni tipo di spostamento. Lo spostamento è stato analizzato solo verso destra e l'ordine di utilizzo delle tecniche è stato randomizzato.

Le variabili analizzate sono state:

- la durata dello spostamento laterale: dallo stacco sulla pedana A fino all'arrivo sulla pedana B
- il tempo speso sulla pedana A dopo l'effettuazione del primo salto (dalla ricaduta al momento di stacco per lo spostamento)
- il tempo totale: dalla ricaduta sulla pedana A all'arrivo delle mani sopra la rete,

Il disegno sperimentale ha previsto un'analisi di varianza a 3 fattori ($\alpha=0,05$) con randomizzazione dell'ordine delle prove.

Figura 2-3 L'apparato usato da Bueckers (1991)



A e B sono le pedane di pressione, C la fotocellula, D il riflettore, E il computer.

Risultati

Per quel che riguarda il tempo totale sono stati riportati i seguenti valori medi 2013 ± 86 msec per lo slide e 1937 ± 80 msec per il cross-over e 1899 ± 137 per la corsa, che risultano significativamente differenti ($p < 0,01$). L'analisi successiva con l'applicazione del Tukey HSD Test NI ha mostrato attendibili differenze tra slide e corsa ($p < 0,01$), tra slide e cross-over ($p < 0,05$) ma non tra cross-over e corsa.

Il tempo di preparazione allo spostamento, speso sulla pedana A, è risultato di 271 ± 27 msec per lo slide e 242 ± 917 msec per il cross-over e 337 ± 71 per la corsa, e le differenze sono risultate significative ($p < 0,05$). L'analisi successiva ha mostrato che la corsa richiede maggiori tempi di contatto ($p < 0,01$) rispetto al cross-over, e anche

rispetto allo slide ($p < 0,05$), mentre non sono state individuate differenze significative tra cross-over e slide.

La durata dello spostamento è stata di 976 ± 107 msec per lo slide e 889 ± 111 msec per il cross-over e 762 ± 132 msec per la corsa, e le differenze sono risultate significative ($p < 0,01$) tra i tre tipi di spostamento ($p < 0,05$).

Discussione

Dai risultati è emerso che la corsa è più rapida delle altre tecniche; in realtà il vantaggio guadagnato con questa tecnica è relativo allo spostamento laterale ma il giocatore spende un tempo più lungo sulla pedana A per la preparazione dello spostamento dopo il primo salto. Il cross-over e la corsa hanno mostrato tempi di caricamento e spinta simili ($\delta = 6$ msec in media) per la preparazione del secondo salto a muro, confermando così l'opinione che la corsa debba essere usata per spostamenti lunghi oltre 1,8 m (Beal and Crabb, 1987).

Buekers ha concluso che la tecnica ottimale varia in funzione della distanza laterale che deve essere coperta dal giocatore. Perciò, per distanze corte, in cui velocità di spostamento non è l'elemento più importante, è consigliabile l'utilizzo del passo accostato, mentre quando la distanza da percorrere è maggiore e lo spostamento deve essere più rapido, è meglio utilizzare il passo incrociato e per distanze ancora più lunghe lo spostamento in corsa.

Considerazioni

L'analisi si è limitata allo spostamento verso destra riproducendo una situazione di gioco che prevede da parte della centrale un primo salto al centro su un attacco in veloce, la ricaduta e lo spostamento. Tale situazione si verificava ai tempi in cui è stato effettuato lo studio, ma non è più così frequente nella pallavolo odierna: il gioco si è velocizzato con traiettorie più rapide verso le ali e in caso di salto sulla veloce la centrale non arriva a ricadere e poi saltare nuovamente dopo spostamento. Si tende perciò ad applicare soprattutto la tattica Read, ritardare il più possibile il salto sulla centrale avversaria, e reagire rapidamente all'alzata partendo già in precaricamento e ricercando la massima rapidità nello spostamento.

Più recentemente (Lehnert *et al.*, 2001) hanno confrontato esecuzioni con e senza l'utilizzo delle braccia e con differenti distanze tra i piedi nella fase di partenza con un sistema di analisi tridimensionale del movimento (APAS) basato sulla digitazione manuale dei punti di reperi articolari.

Dal confronto tra le prove con e senza slancio delle braccia sono emersi vantaggi nell'utilizzo della tecnica con slancio delle braccia.

Dal confronto tra le due posture di partenza è emerso un vantaggio nel partire con i piedi più distanziati così come ipotizzato e proposto da (Coleman and Coleman, 1994).

Con lo sviluppo dei sistemi stereofotogrammetrici di tipo automatico (Elite, Vicon, Smart, E-motion, BTS) l'analisi del muro nella pallavolo ha risvegliato l'interesse dei ricercatori e sono stati per ora prodotti Tesi, Abstract e soprattutto di Paper di Congressi.

Il primo in ordine di tempo (facente parte di questo progetto di Dottorato e riportato al Par. 3.3), è stato presentato in forma di poster allo IASK 2005 Rimini della International Society of Sport Kinetics e ha riguardato la cinematica degli arti inferiori negli spostamenti laterali e l'analisi per la prima volta della frontalità rispetto alla rete.

Altri due sono stati presentati al Congresso di Salzburgh 2006 della International Society of Biomechanics in Sport. Queste due presentazioni di lavori entrambi realizzati in Italia sono una relativa agli spostamenti e l'altra sul salto verticale (anch'essa parte di questo progetto vedi Par. 3.4).

Al World Congress of Biomechanics di Monaco 2006 ancora due lavori il primo una rielaborazione del precedente sugli spostamenti laterali (che viene analizzato di seguito) e un altro invece per l'analisi del timing del salto sul posto a muro in relazione all'attaccante (vedi Cap. 3.5).

Presso la Facoltà di bioingegneria di Padova (Donà *et al.*, 2006) hanno confrontato in uno studio pilota le diverse tecniche di spostamento di tre giocatrici centrali che hanno utilizzato le tecniche "slide, jab cross-over, e running" per effettuare un muro verso destra.

I dati sono stati messi in relazione con quelli ottenuti nei test di salto.

Soggetti: 3 atlete della serie A2 femminile italiana. Le atlete erano state classificate per caratteristiche muscolari attraverso un test di Bosco comprendente Squat Jump (SJ), Counter Movement Jump (CMJ) e Stiffness secondo quanto proposto da Mencarelli (Mencarelli, 2004). Secondo questa classificazione sono da considerarsi reattive le atlete i cui tempi di contatto nel test di stiffness risultano minori di 222 msec con un'altezza di salto media raggiunta maggiore dell'87,4% del valore raggiunto nel CMJ; sono da classificare come elastiche quelle giocatrici il cui incremento di elevazione tra i risultati

del CMJ e lo SJ risulti maggiore del 4,4%; sono definite forti le atlete il cui valore raggiunto nello SJ è superiore al 93,8% del valore raggiunto col CMJ. Questi riferimenti per la classificazione delle atlete sono proposti da Mencarelli in base ad una propria banca dati continuamente aggiornata nel tempo e costituita da test (effettuati con Optojump¹) eseguiti da atlete italiane e straniere di serie A femminile, e delle nazionali italiane giovanili.

Metodi e Procedure: sistema stereofotogrammetrici (BTS System) a 6 telecamere a 60 Hz con un marker set di 42 mkrs da 25 mm applicati a tutto il corpo dai piedi alle mani. Sono stati acquisiti dati relativi all'esecuzione dei salti tipici dei test di Bosco e all'esecuzione di spostamenti a muro e salto dalla posizione di partenza al centro e successivo muro all'ala in zona 2 con attacco da fermo di un allenatore sulle mani, Si è trattato di un tipico esercizio di muro d'allenamento, Ogni atleta ha eseguito almeno tre volte sia lo slide, che il jab cross-over step e anche lo spostamento in corsa avanti, I dati analizzati sono stati normalizzati e mediati e sono state considerate come variabili cinematiche:

- la frontalità a rete nella fase di salto dallo stacco al contatto con la palla;
- la posizione delle mani durante la fase di volo;
- la velocità verticale ed orizzontale del COM (secondo la convenzione di Demster) durante lo spostamento laterale e il salto.

Sono state considerate la Media e la Dev, St, ed è stata utilizzata l'analisi di varianza (Mann-Whitney Test) per il confronto tra le tre atlete e le tipologie di spostamento. La correlazione tra le variabili è stata indagata utilizzando l'analisi di regressione.

Risultati

Il confronto tra tecniche senza tenere conto della peculiarità delle atlete non ha mostrato differenze significative ($\alpha = 0,05$) per quel che riguarda l'altezza del salto e il tempo totale di spostamento e salto.

La frontalità è stata individuata frame per frame ed è stata riferita all'asse delle anche e delle spalle sul piano trasversale, Gli angoli calcolati come media tra le tre esecuzioni sono stati plottati per ogni soggetto per individuare le differenze tra le tre tecniche.

La percentuale del tempo di volo del salto alla quale viene impattata la palla pur intorno al 50% è risultata molto variabile tra i soggetti e diversa nei tre tipi di tecnica utilizzate.

Viene però sottolineato che mentre nello slide le atlete tendono a toccare la palla mentre

¹ Si tratta di un sistema di misurazione dei tempi di volo e di contatto basato su fotocellule. Le formule secondo le quali viene calcolata l'elevazione sono quelle utilizzate da proposte da Bosco e Vittori nella loro batteria di test.

scendono, nel jab cross over step l'impatto con la palla avviene al momento di massima elevazione e nel "running" mentre l'atleta è nella fase ascendente del salto.

Discussione

I dati raccolti non hanno mostrato a differenza degli studi precedenti differenze tra le tipologie di tecnica né per l'elevazione né per il tempo.

L'analisi individuale delle tre atlete ha confermato l'ipotesi che le caratteristiche tecniche siano influenzate dalle caratteristiche muscolari e dal ruolo di gioco:

- l'atleta 1 (Schiacciatrice) classificata come forte ed elastica ma non reattiva (l'altezza media di salto raggiunta nella Stiffness è molto inferiore al limite dell'87,4% proposto da Mencarelli) ha raggiunto la migliore prestazione (media) nello slide;
- l'atleta 2 (palleggiatrice) forte e non elastica ma reattiva (supera il valore di elevazione richiesto e ha tempi medi di contatto pari a 164 msec) esprime valori di salto poco elevati soprattutto negli esercizi specifici di muro;
- l'atleta 3 (centrale) forte classificata come tendenzialmente reattiva ed elastica pur presentando buona familiarità con tutte le tecniche proposte ha raggiunto i migliori risultati nel "running".

Gli autori ipotizzano che l'atleta 2 potrebbe migliorare le sue performance con un più lungo tempo di caricamento, ma mancando di elasticità l'azione di contromovimento non migliorerebbe di molto la performance.

Considerazioni

La ricerca propone un'analisi biomeccanica degli spostamenti e salto a muro in rapporto anche alle caratteristiche muscolari delle atlete. La classificazione delle atlete pur basata su una vasta banca dati personale del Preparatore della Nazionale Italiana Femminile che però non trova, ad oggi, riferimenti in letteratura. Questi autori considerano il muro attraverso l'analisi delle caratteristiche muscolari ma è soprattutto la tecnica, maggiormente influenzata dalle capacità coordinative, che influenza la prestazione nella pallavolo. Dall'analisi delle tecniche così proposta risulta che è il ruolo di gioco la variabile che più influisce sui risultati. Dagli studi sul salto verticale è noto (vedi Par. 2.2) che è l'accoppiamento stiramento-contrazione (coordinazione intermuscolare) che influisce maggiormente sulle capacità di salto.

L'ipotesi relativa alla percentuale del tempo di volo alla quale avviene il contatto con la palla non ha significato tecnico in quanto l'esercizio così come proposto non permette una standardizzazione del colpo: l'attaccante può anticipare o ritardare il colpo perché sia vincente. Si dovrebbe usare un macchinario che mantenga costante la traiettoria

dell'attacco, ma attualmente macchinari di questo tipo vengono utilizzati solamente per la battuta e non sono applicabili per questa situazione di gioco.

Il numero dei soggetti è piuttosto limitato e una sola atleta per ruolo e zona di specializzazione rende l'interpretazione dei risultati ottenuti piuttosto azzardata. La schiacciatrice, ad esempio, non mura se non raramente spostandosi verso destra e la palleggiatrice per la quale viene affermato che la tecnica migliore sarebbe il jab cross over, non esegue che raramente nel gioco questo spostamento in quanto la distanza che deve percorrere nel gioco è piuttosto corta (vedi conclusioni di Buekers).

Del resto si tratta di uno studio pilota e gli autori auspicano di poter proseguire con un maggior numero di atlete questo tipo di indagine.

2.3 Le ricerche sul salto verticale a muro

2.3.1 Il salto a muro

La ricerca biomeccanica più completa ad oggi, a mia conoscenza, sul salto a muro nella pallavolo e alcuni esercizi speciali utilizzati nell'allenamento si deve al Dr. Karl Quade dell'Istituto Federale di Scienza dello Sport di Bonn (Germania) e allenatore di pallavolo.

Descrizione

Quade nella sua Tesi di Dottorato (Quade, 1993) ha analizzato la funzione e il carico degli arti inferiori nei salti caratteristici della pallavolo. Egli afferma nell'introduzione che nella pallavolo l'obiettivo è la massima altezza del salto, che i salti effettuati su due gambe sono quelli più utilizzati, e si propone di ricercare forme di allenamento e di gara per il miglioramento del salto specifico della pallavolo. In particolare sottolinea l'importanza di indagare approfonditamente la coordinazione inter- ed intra-muscolare della muscolatura flessoria ed estensoria degli arti inferiori per fornire un importante aiuto all'economia del movimento del salto.

Citando Heuchert (1978) sottolinea come l'elevazione raggiunta in gara risulti minore rispetto alla "altezza raggiunta" con rincorsa nel test massimale. In generale il contatto con la palla dell'attaccante dovrebbe avvenire nel momento di massima elevazione. Per la complessità dell'azione tecnica, soggetta prima di tutto alle problematiche spazio-temporali (scelta del tempo, velocità della rincorsa, errori di tempo, distanza da rete a

muro) tale obiettivo viene spesso trascurato consapevolmente a favore di una esecuzione dell'azione possibilmente più veloce.

L'altezza assoluta raggiunta dipende sia dalle capacità di salto che dalle capacità coordinative di un giocatore. Le capacità coordinative includono anche il timing. Un salto d'attacco con un timing sbagliato di 0.1 sec porta ad una riduzione dell'altezza dell'azione di 5 cm, un timing sbagliato di 0.2 s porta ad una riduzione di 20 cm.

Lo scopo di questa ricerca era analizzare la funzione delle estremità inferiori così come il carico delle singole strutture anatomiche nel movimento del salto. Perciò per la descrizione della funzione non è stata presa solo la cinematica esterna in aiuto, ma è stato analizzato con l'aiuto del modello geometrico dei singoli muscoli anche il movimento speciale del muscolo stesso.

La ricerca delle forme di movimento di gara scelte per l'analisi ha riguardato esecuzioni di muro e rincorsa d'attacco nella pallavolo, così come le forme di allenamento "Jump and reach" (conosciuto anche come più complesso test) e "salto in basso" (forma di allenamento di forza).

Metodi

In questa ricerca Quade si propone di analizzare le esecuzioni di salto nella pallavolo (in attacco e a muro sul posto) e di alcuni esercizi speciali attraverso l'utilizzo di due pedane dinamometriche Kistler e l'analisi di filmati realizzati con due telecamere Sony.

Soggetti

I soggetti sono stati 20 studenti della scuola superiore dello sport di Colonia, tutti praticanti pallavolo dalla classe amatoriale fino alla Bundesliga. L'altezza media è risultata di 182 ± 6 cm, il peso di 74 ± 7 kg e l'età di 24.4 ± 0.5 anni. In questa maniera era possibile ricevere un ampio spaccato delle diverse tecniche di salto della pallavolo in diversi livelli di prestazione.

Procedure

Affinché tutti i soggetti potessero eseguire i diversi salti con la massima intensità e per ogni forma di salto fossero registrate 5 prove, si dovette considerare una pausa abbastanza lunga tra le singole ripetizioni, così che l'affaticamento non influenzasse i risultati.

Le forme di salto utilizzate nel gioco analizzate sono state il salto a muro e il salto d'attacco e sono state effettuate le acquisizioni lasciando liberi i soggetti di questa ricerca nell'esecuzione di questi movimenti.

Soltanto la condizione iniziale di posizione d'attesa del muro era stabilita con angoli di flessione-estensione al ginocchio di circa 150° e circa 160° per l'anca.

L'ultimo passo nel colpo di attacco appare nella pratica di gioco in molte varianti. Il tipo di variazione è fortemente collegato alla posizione di gioco. Mentre per le alzate di palla alta la probabile efficienza dipende soprattutto dall'altezza di salto accanto alle capacità tecniche e tattiche individuali del giocatore, per le palle veloci è decisivo, accanto alle citate capacità, soprattutto il timing del giocatore. Su queste basi in questa ricerca è stato analizzato l'ultimo passo dell'attacco per un'alzata di palla alta, con la massima ricerca dell'elevazione.

Gli esercizi speciali analizzati sono stati il Jump and Reach che viene spesso utilizzato anche come test di valutazione della forza degli arti inferiori e il Drop Jump and Reach. (Weineck, 2001).

Jump and Reach: all'inizio del movimento i soggetti sono in posizione eretta con le braccia penzoloni verso il basso. Il movimento inizia con un movimento diretto verso dietro-alto e un contemporaneo abbassamento del baricentro attraverso il piegamento delle articolazioni di piede, ginocchio e anca. Segue un'oscillazione delle braccia con l'estensione dell'articolazione superiore. Prima dello stacco dal terreno avviene una frenata verso l'alto della velocità delle braccia con trasferimento dell'impulso di movimento delle braccia al resto del corpo. Questo movimento viene usato nei giochi sportivi, come già accennato all'inizio, generalmente come test complesso per la valutazione della capacità di salto così come proposto da Beal (Beal and Elder, 1988).

Il Jump and Reach viene usato per calcolare l'elevazione da fermo: l'altezza raggiunta con le mani alte in stazione eretta viene sottratta alla altezza raggiunta col salto. È il sistema di valutazione più utilizzato nella pallavolo specie attraverso l'utilizzo del Vertec sia per valutare il salto d'attacco con rincorsa che per il salto a muro con e senza spostamento. L'elevazione in attacco viene riferita all'altezza raggiunta mentre per il muro si calcola riferendosi alle altezze raggiunte a due mani.

Il "drop jump and reach" prevede una caduta verso il basso e si tenta di invertire il più rapidamente possibile la direzione del movimento per ottenere elevate tensioni muscolari nella muscolatura estensoria delle articolazioni di piede, ginocchio e anca. L'altezza di caduta in questa ricerca è stata di 0.25 m è stata scelta per non esporre i soggetti a eventuali carichi non fisiologici come invece possono manifestarsi per altezze più elevate (Schmidtbleicher and Golhofer, 1982).

Risultati

I risultati di questo lavoro hanno confermato le differenze tra le forme di salto. Per ogni caratteristica si differenziano i salti dei gruppi senza grande energia iniziale (Muro, Jump and reach) da quelli con energia iniziale (Passo d'attacco, Drop Jump).

Il salto verso il basso offre nell'ambito della più elevata prestazione una possibilità di allenamento di forza del salto. Nella sua caratteristica spazio-temporale assomiglia al passo di attacco. Nelle caratteristiche di sviluppo dell'intensità di una forma di movimento non risulta alcuna differenza significativa tra il salto verso il basso e il passo d'appoggio. Bravi atleti raggiungono nell'articolazione del ginocchio e nel momento torcente massimale riferito alla misura del corpo valori di picco di forza di 3,9 Nm/kg. In media sono stati raggiunti 3,5 Nm/kg. Nella rincorsa d'attacco si è evidenziata una differenza tra la gamba d'appoggio (piede perno) e la gamba dietro (piede puntello). La gamba dietro viene caricata di circa il 20% in meno attraverso il momento torcente massimale sul piano sagittale nella articolazione del ginocchio.

Discussione

Il Jump and reach e il muro sono risultati molto simili nel loro sviluppo dinamico-temporale.

Il Drop jump and reach offre nell'ambito della più elevata prestazione una possibilità di allenamento di forza del salto. Nella sua caratteristica spazio-temporale assomiglia al passo di rincorsa dell'attacco. Nelle caratteristiche di sviluppo dell'intensità di una forma di movimento non risulta alcuna differenza significativa tra il salto verso il basso e il passo di rincorsa.

Le velocità angolari del ginocchio e soprattutto la cinematica dell'anca nell'allenamento con le macchine sono molto diverse dalla forma complessa di salto.

Nell'allenamento con i pesi liberi si deve fare la considerazione che di certo la struttura spaziale del movimento si mantiene ma la struttura temporale cambia fortemente.

Sulla base della cinematica delle estremità inferiori per le forme complesse di salto, deve essere evitato un allenamento speciale di forza vicino alla gara con l'aiuto delle macchine di forza.

Ancora Quade afferma che l'allenamento di forza deve perciò essere programmato il prima possibile nella stagione e il più spesso possibile l'allenamento di forza dovrebbe essere eseguito con l'aiuto di forme molto complesse di allenamento (vicine alla gara) e

propone l'utilizzo di salti in diverse forme di esecuzione, con e senza carico supplementare, salti in direzione verticale e orizzontale, salti in movimento o da fermi.

I soggetti dovevano indicare in un questionario prima della ricerca quale era la loro gamba forte nel salto. Nella maggior parte dei casi è stato riscontrato che la gamba indicata nel questionario come più forte concordava con il più alto volume di carico esterno misurato dalle pedane di forza. Perciò Quade ha concluso che l'intensità e non il volume del carico influenza la forma di movimento.

Considerazioni

Le conclusioni di Quade concordano con quanto affermato da Verchoshanskij (Verchoshanskij, 2001a) quando afferma nel definire la tecnica sportiva che "l'atleta deve ottenere non solo la razionale coordinazione spazio-temporale del movimento ma deve realizzarla ad una velocità molto elevata, con il massimo impegno di forza in condizioni di tempo limitato". E questo vale in particolare per la pallavolo caratterizzata soprattutto da azioni di durata inferiore ai 6 sec e pause intorno ai 20 -30 sec (Fontani et al., 2000).

Il disegno sperimentale di confronto tra prestazione di salto nella pallavolo ed esercizi speciali ha permesso di confrontare i risultati con l'ampia letteratura (Bosco and Komi, 1981; Canavan *et al.*, 1996; Gehri *et al.*, 1998; Golhofer and Bruhn, 2003) esistente sull'allenamento della forza estensoria degli arti inferiori nella esecuzione del salto verticale.

2.3.2 L'allenamento del salto verticale

Nell'allenamento del salto verticale si distinguono secondo (Baker, 1996) tre tipologie di esercizio:

- Esercizi Generali di allenamento della forza il cui obiettivo è di migliorare la forza massima dei muscoli coinvolti nel salto. Sono i tipici esercizi utilizzati in sala pesi.
- Esercizi Speciali il cui scopo è di allenare la potenza, una volta incrementata la forza. Sono esempi di questi i jump squat e gli esercizi del sollevamento pesi (girata, strappo e slancio).
- Esercizi Specifici la cui caratteristica è di stimolare in modo simile alla situazione della competizione le capacità di salto. Sono esempi di questi esercizi i salti ripetuti (il cui volume è la principale forma di sovraccarico), i salti con piccolo sovraccarico (cavigliere, giubbotti d'appesantimento, asta del bilanciere sulle spalle), i balzi

(verticali e in lungo) e i salti con caduta (il sovraccarico è costituito dall'altezza di caduta che precede il salto).

Personalmente sono maggiormente d'accordo con la definizione di Platonov il quale afferma che per "speciale si intende l'esercizio che include elementi dell'attività competitiva e azioni che per forma, struttura, carattere delle capacità espresse ed attività dei sistemi funzionali sono simili ad essa" (Platonov, 2004).

Pur tenendo conto che molti autori (Cometti, 1997; Cometti, 1998) hanno sostenuto l'importanza della combinazione e "concatenazione" tra il lavoro con i pesi, la pliometria e la ripetizione del gesto tecnico, è tra gli esercizi speciali che si devono ricercare in particolare le soluzioni per l'allenamento dei salti tipici della pallavolo: verticale a muro sul posto, a muro dopo spostamento e d'attacco. Come afferma Doug Beal (allenatore della nazionale USA Campione Olimpica 1984) "per imparare a schiacciare bisogna schiacciare; il miglior sistema per migliorare il salto è il salto!" (Beal and Elder, 1988).

A questo proposito molto interessanti sono le conclusioni di uno studio recente (Del Sal et al., 2007) nel quale sono stati confrontati i miglioramenti nelle capacità di salto di un gruppo di pallavoliste (Under 18) dopo un programma di allenamento basato su salti pliometrici con caduta da 25 cm di altezza cui seguiva un salto verticale. Il gruppo era stato diviso in due e mentre il gruppo A eseguiva la ricaduta cui seguiva un salto e l'effettuazione di un attacco "tipo veloce" su lancio dell'allenatore, il gruppo B eseguiva l'esercizio "a secco - senza palla". La metodologia con palla suggerita già da Verchoshanskj (1997) ha mostrato miglioramenti maggiori (statisticamente significativi) rispetto al metodo "senza palla". Questo studio ribadisce l'importanza della rapidità per il raggiungimento di una maggiore elevazione. L'uso del pallone in volo va perciò raccomandato il più possibile nell'allenamento del salto del pallavolista.

2.4 Scopi di questo progetto

L'analisi delle variabili spaziali, temporali e di velocità delle tecniche di spostamento laterale utilizzati nel gioco dai giocatori può fornire agli allenatori informazioni per allenare maggiormente la tecnica più efficace di muro.

Questo è stato possibile attraverso l'acquisizione di dati in una simulazione di laboratorio dell'attività di gioco.

Gli scopi di questo progetto di Dottorato sono stati molteplici.

Preliminarmente si è cercato di:

confrontare tra loro tre diverse applicazioni dei sistemi stereofotogrammetrici ai fini dell'analisi cinematica della prestazione di muro;

individuare le tipologie di spostamento più usate nel gioco in modo da procedere all'analisi cinematica di queste rispetto ad altre già analizzate in letteratura ma non più applicabili per le mutate caratteristiche del gioco;

determinare quantitativamente le variabili temporali, spaziali, angolari e cinematiche caratteristiche dello spostamento e del salto a muro.

In secondo luogo, ma come obiettivo principale, ci si è prefissi di:

determinare differenze e similitudini tra alcuni esercizi speciali e le principali tipologie di spostamento individuate;

qualificare ogni esercizio speciale per lo sviluppo di un particolare aspetto condizionale e coordinativo.

3 METODI

3.1 *I sistemi stereofotogrammetrici: Vicon Motion System*

Gli strumenti per la misura della cinematica del corpo umano devono essere considerati anche attraverso l'analisi dei problemi relativi alla acquisizione e successiva elaborazione numerica delle variabili che definiscono i movimenti spaziali dei vari segmenti corporei. Applicando i principi meccanici del "movimento dei corpi rigidi", si ottengono spostamento, velocità ed accelerazione sia lineare che rotatoria di segmenti corporei e relative articolazioni.

I sistemi automatici che permettono tali acquisizioni sono normalmente corredati delle seguenti funzioni:

- la misura delle grandezze biomeccaniche elementari di un certo set di segmenti corporei;
- il trattamento del segnale come amplificazione, filtraggio, conversione analogico/digitale, memorizzazione, visualizzazione e rappresentazione.
- la elaborazione dei dati generalmente basata su complessi modelli matematici o su tecniche di correlazione.

Esistono tuttora varie limitazioni tecniche, errori di misura ed artefatti sulle misure di movimento del corpo umano, presenti in maniera diversa in tutti i sistemi e protocolli usati. Questi includono:

- l'effetto del movimento relativo tra la cute e la sottostante struttura scheletrica di cui si vuole conoscere la cinematica,
- problemi ed omissioni nella localizzazione degli assi di riferimento solidali con l'anatomia ossea del segmento: questo è l'unico modo per poter eseguire confronti tra cinematiche di soggetti differenti,
- difficoltà nella determinazione della traslazione articolare dovute alla risoluzione delle tecniche di misura,
- grossolane semplificazioni che spesso si fanno nell'ignorare il movimento relativo tra le superfici articolari,
- non perfetta ripetibilità intra-soggettiva.

Questi problemi, condivisi da quasi tutti i metodi, hanno comunque vari gradi di implicazione in ogni tecnica di misura. E' essenziale essere a conoscenza di queste limitazioni per poter interpretare razionalmente i dati ottenuti. D'altra parte ormai tutti i sistemi di acquisizione sono affidabili e forniscono dati riproducibili.

Le telecamere offrono i mezzi per acquisire, memorizzare e rivedere successivamente il movimento dell'intero corpo anche per diversi minuti.

Basandosi sui principi di trasduzione e sulle tecniche di calcolo usate, è possibile fare la seguente classificazione degli strumenti cinematici basati sull'utilizzo di telecamere che si stanno usando in analisi del movimento:

- i sistemi cine-fotografici e i videotape con digitizer: utili sia per l'analisi del movimento puramente visiva, sia, tramite successivo processamento delle immagini, per la quantificazione dello stesso;
- i sistemi automatici optoelettronici: usano l'elettronica applicata ai segnali video per ottenere automaticamente e direttamente i dati numerici necessari alla descrizione completa della cinematica del movimento.

Una immagine creata da una video-camera rappresenta una proiezione su 2D dell'oggetto tridimensionale fotografato. Ma l'obiettivo finale dell'uso delle videocamere nell'analisi dei movimenti sportivi è sicuramente quello di ricreare quantitativamente e visivamente il movimento tridimensionale partendo da almeno due proiezioni bidimensionali. Tale processo, sia per i sistemi video che per quelli optoelettronici, è chiamato stereofotogrammetria. Il lungo processo di estrazione delle coordinate dalle immagini video o da film usando la digitalizzazione manuale (Merni and Lobietti, 2005) è stato largamente rimpiazzato dalla estrazione elettronica automatica delle informazioni di posizione. Queste procedure richiedono il fissaggio di markers all'oggetto in movimento e l'identificazione degli stessi nel volume comune ai campi di vista delle telecamere. La localizzazione dei markers viene automaticamente identificata attraverso la determinazione del centroide dell'area luminosa che essi producono in almeno due telecamere contemporaneamente. I markers passivi riflettono la luce proiettata da emettitori infrarossi posti attorno all'obiettivo delle camere (Light Reflective Devices). Le telecamere sono così in grado di identificare univocamente la posizione spaziale istantanea del marker identificando (automaticamente o tramite indicazioni dell'utente) il punto luminoso caratteristico del marker fisico. Il centro di ogni marker viene identificato da algoritmi matematici usando riconoscitori sia di soglia che di forma.

Il posizionamento dei markers viene attuato secondo differenti metodologie e protocolli sperimentali che verranno trattati in dettaglio in questo capitolo.

Il riconoscimento tridimensionale dei 6 gradi di libertà di un segmento corporeo è possibile partendo dalla conoscenza della localizzazione di almeno 3 dei suoi punti e

quindi conoscendo la posizione spaziale di 3 markers non allineati posti su di esso; questi costruiscono un sistema di riferimento tecnico del segmento che ne permette di valutare la cinematica completa.

Come sottolineato da Cerveri (Cerveri et al., 2003) “per la complessità dello studio del cammino umano, i sistemi optoelettronici risultano essere gli unici in grado di catturare tutti i dati necessari con ragionevole velocità e accuratezza, cosa che li ha resi ormai i più diffusi nei laboratori di analisi del movimento. Solamente nei casi in cui siano da valutare attività aventi una certa durata nel tempo ed esecuzioni particolarmente rapide si sono presi in considerazione i sistemi di acquisizione video e cinematografica”. Scopo metodologico di questa tesi è stato di verificare l’utilizzo di questo tipo di sistemi per l’analisi dei movimenti della pallavolo e di mettere a punto il miglior set-up di telecamere e di scegliere il marker set più opportuno al raggiungimento di questo scopo. Il muro è risultato il fondamentale della pallavolo da cui partire in quanto, mentre tutti gli altri fondamentali prevedono sempre il tocco, il colpo, il contatto con la palla, un muro ben eseguito da un punto di vista tecnico raggiunge lo scopo di ridurre le possibilità di successo dell’attaccante avversario come già sottolineato al paragrafo 1.2 di questa tesi.

3.2 *Posizionamento dei markers*

Tradizionalmente esistono due fondamentali approcci differenti per il posizionamento dei markers sugli arti.

Il primo suggerisce di montare ogni marker direttamente sulla cute in corrispondenza dei punti di repere anatomici interessati o in modo tale che approssimino il meglio possibile la posizione del centro di rotazione articolare. La posizione e orientamento dei segmenti dell'arto vengono approssimati definendo linee che uniscono tali punti. Normalmente questa metodica consiste nel considerare tutte le articolazioni umane come cerniere con l'asse di rotazione ortogonale al piano sagittale. È inoltre assunto che i segmenti siano rigidi, lineari e definiti da due markers adiacenti. La relativa accuratezza con cui i singoli markers sono posizionati in corrispondenza di reperi ossei o articolari, o in modo tale da individuare dei piani anatomici, può significativamente alterare i risultati dei successivi calcoli di cinematica e dinamica, specialmente quando questi punti sono in posizioni che presentano difficoltà nel montaggio del marker e nella sua acquisizione.

Il Plung-In-Gait di Davis-Kadaba (Kabada et al., 1989), prevede che i marcatori siano posizionati nella parte inferiore del corpo del soggetto nei punti di repere seguenti (Tabella 3-1).

Tabella 3-1 Posizioni dei markers nella parte inferiore del corpo secondo il FIG.

SEGMENTO	POSIZIONAMENTO DEI MARKER	ETICHETTA
BACINO	2 Spine iliache superiori anteriori	RASI LASI
	2 Spine iliache superiori posteriori	RPSI LPSI
COSCIA	1 sul piano passante per l'asse di flessione-estensione del ginocchio	RTHI LTHI
GINOCCHIO	1 Epicondilo femorale laterale	RKNE LKNE
GAMBA	1 sulla linea passante dall'epicondilo femorale laterale ed il malleolo laterale	RTIB LTIB
CAVIGLIA	1 Malleolo laterale	RANK LANK
PIEDE	1 tallone	RHEE LHEE
	1 sulla II testa metatarsale	RTOE LTOE

Invece per la parte superiore del corpo, tronco, testa e arti superiori, è stato utilizzato un protocollo implementato da Vicon che prevede il posizionamento dei marcatori come riportato in tabella 3-2.

Tabella 3-2 Posizioni dei markers nella parte superiore del corpo secondo il FIG.

SEGMENTO	POSIZIONAMENTO DEI MARKER	ETICHETTA
TESTA	2 Anteriori	RFHD LFHD
	2 Posteriori	RBHD LBHD
COLLO	1 in corrispondenza di C7	C7
SPALLE	1 sull'acromion	RSHO LSHO
TRONCO	1 tra le clavicole	CLA
	1 sul processo xifoideo	STRN
	1 T 10	T10

I dati antropometrici previsti dal protocollo sopra enunciato sono il peso, l'altezza e i diametri articolari di gomito (la distanza tra l'epicondilo laterale e l'epitroclea omerale), polso (distanza tra il processi stiloidei di radio ed ulna), ginocchio (distanza tra l'epicondilo mediale e laterale del femore), la caviglia (distanza inter-malleolare), lo spessore della mano (misurato all'altezza della III testa metacarpale) la distanza tra le creste iliache anteriori, l'altezza dall'acromion alla linea passante per la clavicola e la lunghezza della gamba: misurata dalla cresta iliaca superiore anteriore al malleolo mediale.

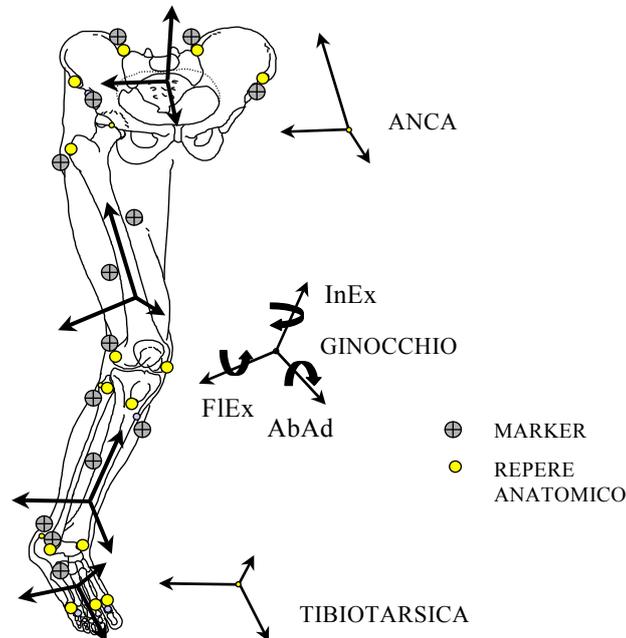
Il secondo sistema detto **CAST** (Cappozzo, 1995; Benedetti, 1998), sperimentato per la pallavolo in questo studio, si basa sulla separazione, durante gli esperimenti di analisi del movimento in stereofotogrammetria, dei problemi tecnici di visibilità dei markers da quelli di reperimento della geometria ossea. Esso consiste nell'associare un set di almeno 3 markers per ogni segmento corporeo, sia direttamente che montati su strutture rigide o semi rigide, in modo tale che la posizione e orientamento del segmento nello spazio tridimensionale possono essere univocamente determinati.

In questo metodo non è importante dove i markers sono localizzati ma che vi siano almeno tre markers visibili per ogni segmento: questo garantisce la ricostruzione di tutti i 6 gradi di libertà del segmento. In particolare viene utilizzato il metodo dei minimi quadrati per ottenere una stima ottima dei sei gradi di libertà, minimizzando l'influenza dell'errore fotogrammetrico e nel caso si riescano ad utilizzare array indeformabili anche dell'artefatto da tessuti molli.

Usando le coordinate di tre punti di riferimento non collineari rigidamente associati con l'osso, può essere definito un sistema di riferimento *solidale con l'osso*, detto sistema di riferimento anatomico (in quanto rigidamente associato con l'anatomia ossea). I markers possono essere montati anche su strutture fissate al segmento corporeo usando fasce elastiche o altri supporti. Questo metodo presenta diversi vantaggi: il loro montaggio sull'atleta può risultare facilitato, il metodo di fissaggio può essere studiato per realizzare la minima dipendenza dal movimento dei tessuti molli, la conoscenza della relazione geometrica tra i markers, associata con la eventuale ridondanza nel numero degli stessi, può essere sfruttata al fine di ridurre gli effetti degli errori strumentali. Inoltre l'emissione di luce da parte dei markers può essere opportunamente orientata verso le telecamere in maniera più semplice.

Il sistema di riferimento solido con l'osso, determinato usando markers montati su strutture, denominato sistema di riferimento *tecnico*, risulta però essere in una relazione geometrica totalmente arbitraria e non-ripetibile rispetto alla anatomia dell'osso.

Figura 3.1 Sistemi di riferimento anatomici e articolari adottati



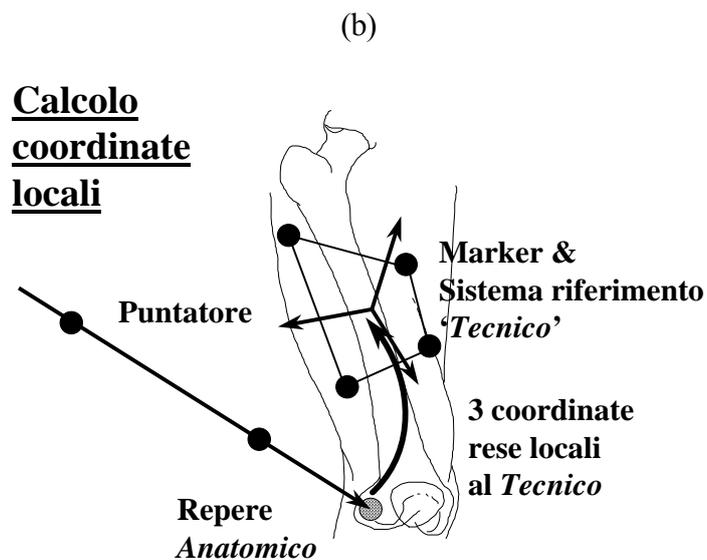
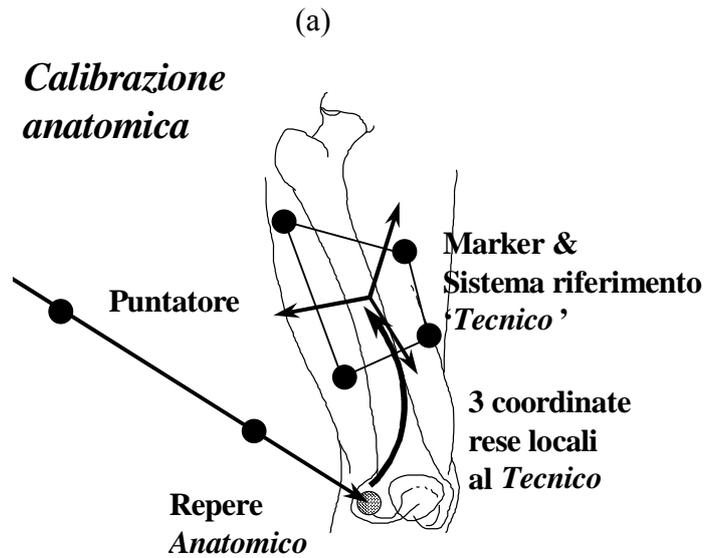
In Figura 3.1 sono evidenziati i markers, i repere anatomici, i sistemi di riferimento anatomici dei segmenti corporei ed i riferimenti articolari adottati. In particolare i sistemi di riferimento articolari vengono costruiti ed associati ad ogni singola articolazione al fine di descrivere le sue rotazioni spaziali, nel rispetto delle loro definizioni cliniche. Le rotazioni articolari infatti vengono rappresentate e calcolate come rotazioni attorno a determinati assi funzionali. Risulta essere normalmente un sistema di riferimento con assi non ortogonali per il fatto che gli assi di rotazione, così come sono normalmente noti nella pratica clinica, non sono necessariamente mutuamente perpendicolari.

La localizzazione spaziale (ottenuta tramite i cosiddetti *parametri di reperimento anatomico*) di un adeguato numero di reperi anatomici dati rispetto al sistema di riferimento tecnico, può essere determinata attraverso un'acquisizione denominata *calibrazione dei reperi anatomici*.

Il procedimento (illustrato in Figura 3.2) può essere suddiviso nelle seguenti fasi: un puntatore di calibrazione a due markers permette di rilevare la posizione del reperi rispetto ai markers di segmento (a), si procede quindi alla ricostruzione delle coordinate

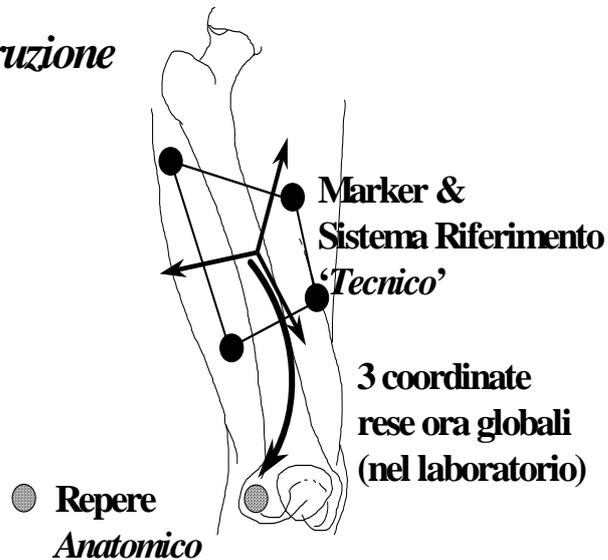
espresse nel sistema di riferimento tecnico (b), ed infine, nota l'evoluzione durante il movimento della posizione ed orientamento del riferimento solidale con l'array di segmento, è possibile ricostruire l'andamento dei reperi nel riferimento di laboratorio (c).

Figura 3.2 La procedura di calibrazione anatomica permette di posizionare i markers in base alla loro visibilità, senza che essi debbano avere una posizione fissa rispetto ai punti di reperi anatomico.



(c)

Ricostruzione



Questo tipo di approccio, denominato *CAST (Calibrated Anatomical System Technique)*, si sta diffondendo nella pratica clinica e l'applicazione ai movimenti dello sport apre prospettive metodologiche condivise da altri autorevoli autori e viene sperimentata in diverse discipline.

Nel caso di utilizzo del marker set per il CAST si calibrano le posizioni dei markers posizionati sui segmenti corporei rispetto ai punti di repere articolari attraverso lo stick di calibrazione.

L'utilizzo di 4 markers per ogni segmento ha permesso, attraverso il programma BodyBuilder di ricostruire tutti quei markers del protocollo standard non visualizzati durante l'acquisizione dinamica, in modo da ottenere un'immagine tridimensionale completa del movimento.

3.3 Il set-up telecamere

Nel caso della pallavolo la necessità di volumi molto ampi in altezza e allo stesso tempo in profondità e lunghezza è risultato uno dei punti critici con i quali ci si è dovuti confrontare.

Per lo studio dei fondamentali con salto della pallavolo ci si è trovati a dover gestire volumi molto ampi in altezza (fino a 3,50 m) ma anche in larghezza (6,0 m lateralmente

per il muro) o in profondità (nella schiacciata si considerano rincorse di circa 3,50 m e il giocatore parte a muro a circa 1,00 m dalla rete).

In particolare poi nel caso di questo studio sugli spostamenti a muro e degli esercizi speciali sono stati necessari 5,00 m di spazio parallelamente a rete e 2,50 m perpendicolarmente ed un'altezza di 3,50 m.

Essendo i protocolli di ricostruzione dei centri articolari destinati allo studio della deambulazione in ambito clinico, e, data la complessità del gesto da analizzare, è stato necessario studiare un apposito set-up delle telecamere per evitare che alcuni markers fossero parzialmente o totalmente oscurati dal movimento relativo di altri segmenti corporei o da atteggiamenti corporei assunti durante l'esecuzione del movimento stesso.

Questa problematica ha portato a sperimentare quattro diverse soluzioni:

1. L'utilizzo del Plug-In Gate di Vicon con markers aventi diametro di 14 mm ma limitato agli arti inferiori e del protocollo di Davis per la ricostruzione dei centri articolari è stato sperimentato nell'analisi degli spostamenti laterali con possibilità di differenziare tra tipologie di spostamento e direzione.
2. L'utilizzo del Plug-In Gate di Vicon con markers di 25 mm di diametro posizionati anche negli arti superiori secondo l'Helen Hayes marker set è stato sperimentato per lo studio delle tecniche di salto a muro verticale e i rapporti con la rete (penetrazione delle mani oltre la rete) in simulazioni di muro su attacco in veloce.
3. L'utilizzo di markers da 14 mm con utilizzo del nuovo marker set denominato CAST-Spike-Block implementato per questo studio posizionando 4 markers per segmento scheletrico ha permesso di effettuare acquisizioni in contemporanea di un giocatore in attacco e di uno a muro. Tale sperimentazione è stata effettuata per verificarne l'applicabilità e poter così acquisire movimenti degli atleti in simulazioni di laboratorio più aderenti alla realtà del gioco (gamelike oriented).
4. Allo stesso modo si è implementato e definitivamente scelto il marker set CAST-Pallavolo che sviluppato a partire dal precedente è stato applicato ad un giocatore alla volta ed utilizzato posizionando le telecamere lateralmente al movimento per l'analisi in laboratorio delle tecniche di muro (sul posto e con spostamento), di ricaduta, e degli esercizi speciali.

3.4 *Vicon e volley: PIG e markers da 14 mm per lo studio preliminare limitato agli arti inferiori*

Nel 2005 al Congresso IASK di Rimini è stato presentato, in forma di poster, uno studio (Lobietti et al., 2005) cinematico delle tecniche di spostamento a muro utilizzate nella tattica Commit. Sono state confrontate 4 tecniche di spostamento: il passo accostato (Slide) e l'incrociato (Cross) come tipici dei giocatori d'ala e la combinazione accostato-incrociato (Slide Cross) e doppio accostato (Double Slide) come caratteristici dei centrali (Lobietti and Merni, 2006).

Soggetti: 6 giocatori (4 schiacciatori, 1 centrale, 1 palleggiatore) di serie B1 maschile (valori medi: età 25,1; statura 188 cm, 83,5 Kg).

Metodi e procedure

In accordo con Tokuyama (Tokuyama et al., 2005) sono stati posizionati 16 markers (diametro 14 mm) nella pelvi e nelle gambe e al posto del COM (non calcolabile in mancanza di marker negli arti superiori e busto), è stata analizzata la cinematica del centro del bacino (MEDH). Due addizionali markers sono stati fissati alla rete (assumendo la verticalità del piano della rete) per poter calcolare l'orientamento tra la pelvi e la rete nelle diverse fasi del movimento: in tal modo è stato possibile per la prima volta indagare la frontalità a rete al momento dello stacco (aspetto particolarmente discusso tra gli allenatori).

Ogni giocatore ha eseguito 4 prove per ogni tipo di spostamento in entrambe le direzioni.

Agli atleti, che potevano iniziare lo spostamento senza reagire ad un segnale di Start, è stata richiesta una "corretta" esecuzione del muro: questa consiste nel cercare di raggiungere la maggior elevazione, lunghezza dello spostamento e verticalità del salto e la frontalità rispetto alla rete.

Per l'analisi dei dati cinematici è stata selezionata una sola prova per ogni giocatore per ogni tipo di tecnica e direzione di spostamento. Questa scelta è stata resa necessaria sia per l'elevato numero di vuoti (gaps) nella ricostruzione tridimensionale delle traiettorie dei markers dovute alle numerose occlusioni che si realizzano (soprattutto nel passo incrociato) durante lo spostamento.

Risultati

Tabella 3-3 Variabili temporali, velocità verticale ed elevazione (dati IASK 2005).

Tab. 3-3	Durata passo apertura	Pivot foot contact time	Durata passo chiusura	Support foot contact time	Tempo di volo	Tempo totale	Velocità verticale massima	Elevazione
Passi	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(m/sec)	(cm)
Slide Cross	0,53	0,37	0,34	0,17	0,68	1,98	3,77	55,7
Cross	0,44	0,41	0,32	0,20	0,66	1,52	3,47	53,2
Slide	0,46	0,45	0,33	0,25	0,63	1,56	3,06	47,4
Double Slide	0,45	0,42	0,35	0,21	0,61	2,08	3,07	45,8
Media	0,47	0,41	0,33	0,21	0,65	1,78	3,28	50,5
Dev. St.	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,26	0,31	72,0
Min	0,36	0,31	0,25	0,12	0,58	1,32	2,46	36,7
Max	0,57	0,54	0,47	0,31	0,75	2,26	4,06	66,2

Tabella 3-4 Velocità orizzontale e frontalità nelle due direzioni (dati IASK 2005).

Tab. 3-4	Velocità orizzontale massima	Verso sinistra	Verso destra	Frontalità allo stacco	Perdita di frontalità	Verso sinistra	Verso destra
Passi	Media (m/sec)	Media (m/sec)	Media (m/sec)	Media (gradi)	Media (gradi)	Media (gradi)	Media (gradi)
Slide Cross	3,81	3,97	3,65	18±11	81±9	85	77
Cross	3,24	3,37	3,11	21±19	81±10	87	76
Slide	2,42	2,46	2,37	7±5	15±6	18	13
Double Slide	3,01	3,01	3,01	5±3	13±6	16	11

Discussione

Differenze significative sono state evidenziate dall'analisi con Test T per dati accoppiati ($p < 0,05$): quando gli atleti si spostano verso sinistra col passo incrociato per entrambe le variabili riportate in tabella 3-4 realizzano migliori prestazioni.

E' stato spiegato tale risultato perchè nel muoversi verso sinistra i giocatori utilizzano la stessa coordinazione della rincorsa d'attacco (successione dei passi destro – sinistro).

Questo studio ha suggerito ai giocatori d'ala di utilizzare il passo incrociato nel muoversi verso l'esterno e l'accostato verso il centro della rete; ai centrali di utilizzare più frequentemente l'incrociato semplice o l'accostato-incrociato.

3.5 Vicon e volley: PIG e mkrs da 25 mm per lo studio pilota sul confronto tra Read e Commit Block

Nel 2006 al Congresso ISBS 2006 di Salisburgo è stato presentato uno studio preliminare (Lobietti et al., 2006a) nel quale, simulando il muro su attacco in veloce, sono state confrontate le tecniche di salto verticale eseguito secondo le due tattiche di muro in lettura (Read) o in opzione (Commit).

Soggetti: 4 giocatori Under 18 (età 16.5 ± 1 anni, statura 182.7 ± 2.8 cm, 72 ± 5 Kg).

Metodi e procedure

Le variabili cinematiche scelte per l'analisi sono state le diverse fasi temporali del salto, il tempo necessario alle mani per arrivare oltre la rete, l'elevazione e lo spostamento verticale del COM, la distanza tra i piedi allo stacco, gli angoli di massima flessione delle anche e delle ginocchia, la penetrazione delle braccia oltre la rete e l'angolo al polso al momento di massima elevazione. Il Test non parametrico di Friedman ($\alpha=0.05$) è stato utilizzato per confrontare le due tattiche di muro.

Risultati

Nel Read i giocatori hanno espresso una fase preparatoria più breve ($p=0,046$) mentre nel Commit è risultata significativamente ($p=0,046$) più lunga la fase di spinta.

Anche la fase di volo del salto, la massima velocità verticale e lo spostamento verticale (ROM) del baricentro sono risultate maggiori per la tattica Commit ($p=0,046$) così come l'elevazione e la distanza tra i piedi allo stacco.

Tabella 3-5 Variabili temporali, spaziali e velocità verticale (dati ISBS 2006).

Tab. 3-5	Durate (sec)				Distanze (mm)			Velocità (m/sec)
	Fase di caricamento	Fase di spinta	Tempo di volo	Tempo totale	Range of Movement	Elevazione	Distanza tra i piedi	Verticale Massima
Media	0.28	0.27	0.58	1.13	870	403	369	2.98
Dev. St.	0.18	0.08	0.03	0.29	170	51	75	0.17
Media CBS	0.38	0.32	0.60	1.31	1001	442	325	3.10
Media RBS	0.18	0.22	0.56	0.95	738	364	413	2.85
Dev. St CBS	0.14	0.05	0.01	0.17	104	29	68	0.07
Dev. St RBS	0.20	0.07	0.02	0.28	104	34	58	0.16

Discussione

L'analisi cinematica ha confermato l'esperienza degli allenatori: nel sistema Read le mani arrivano più rapidamente oltre la rete, la distanza tra i piedi è maggiore, ma l'elevazione e l'altezza raggiunta dal muro sono minori che nel muro con tattica Commit. In particolare tenendo conto che questi atleti non erano stati istruiti né allenati specificatamente a queste due tattiche è risultato particolarmente interessante il diverso comportamento motorio relativamente alla distanza tra i piedi in posizione di partenza: nella tattica Read questi giocatori hanno allargato la base d'appoggio in modo "naturale". Questo risultato insieme a quelli riportati da Lehnert et al. (2001) avvalorano la proposta di Coleman (1996) per una posizione di partenza con gambe larghe in precaricamento e braccia alte considerata più reattiva rispetto alla tradizionale con gambe estese e mani all'altezza degli occhi.

3.6 *Vicon e volley: CAST e markers sulla palla per lo studio pilota del timing con l'attaccante*

Al World Congress of Biomechanics di Monaco 2006 è stato presentato uno studio preliminare (Fantozzi et al., 2006) per l'analisi del timing del salto a muro in relazione all'attaccante. Si è trattato di uno studio che aveva il duplice scopo di sperimentare l'applicabilità del sistema stereofotogrammetrico per poter poi verificare l'indicazione della maggioranza degli allenatori che suggeriscono al giocatore a muro di effettuare il caricamento per il salto a muro al momento dello stacco dei piedi dell'attaccante avversario e di saltare al momento del caricamento del braccio dell'attaccante per la schiacciata. Non si riportano in questa tesi i risultati relativi all'analisi in quanto non strettamente legati allo scopo di questa tesi ma la sperimentazione del sistema con solo 6 telecamere posizionate 3 per ogni lato insieme all'utilizzo del protocollo CAST ha permesso di ridurre notevolmente i gaps nelle traiettorie tridimensionali dei markers ed è stato così definitivamente scelto per la comparazione tra esercizi speciali e modello di prestazione del muro.

3.7 *Vicon e volley: CAST e analisi cinematica delle ricadute dai salti*

Al Congresso Siamoc 2006 è stato presentato (Lobietti et al., 2006b) uno studio pilota per verificare la possibilità di analizzare la cinematica delle tecniche di ricaduta (mono e dipodaliche) attraverso la simulazione di una situazione di gioco molto particolare e specifica: la ricaduta dal salto d'attacco seguita dallo spostamento per effettuare il muro. **Soggetti:** 3 giocatori di serie B1 maschile (2 schiacciatori e 1 centrale).

Metodi e procedure

Ciascun giocatore scendendo da un gradino (alto 15 cm) posto alla distanza di 1 metro da rete, ricadendo in avanti si spostava poi verso destra lungo la rete. Il giocatore ha eseguito due prove ricadendo sul piede sinistro e due prove su due piedi. L'analisi del movimento è stata eseguita utilizzando un sistema stereofotogrammetrico (VICON 460) con sei telecamere (100 Hz). Quattro markers sono stati fissati per ogni segmento (piedi, gambe, coscie, pelvi) e per mettere in relazione il movimento dei markers con i segmenti scheletrici relativi è stato utilizzato il protocollo CAST. Le rotazioni articolari sono state calcolate secondo la convenzione di Grood e Suntay.

Sono stati identificati tre eventi fondamentali: il contatto del piede sinistro col terreno (ST), il massimo caricamento (GA) e lo stacco del piede sinistro (TO) per lo spostamento laterale.

Risultati

Gli angoli di flessione di anca, ginocchio, e caviglia dell'arto inferiore sinistro per ciascun evento sono stati riportati in tabella.

Tabella 3-6 Angoli articolari e tempo di contatto nelle ricadute (dati SIAMOC 2006)

Tipo	Evento	Anca (gradi)			Ginocchio (gradi)			Caviglia (gradi)			Tempo di contatto (msec)
		ST	GA	TO	ST	GA	TO	ST	GA	TO	
Un piede	Mediana	28,0	46,5	26,5	19,5	62,0	30,5	-18,5	18,5	-7,5	440
	Minimo	19,0	19,0	7,0	8,0	51,0	20,0	-32,0	10,0	-18,0	260
	Massimo	39,0	63,0	51,0	38,0	68,0	48,0	5,0	27,0	7,0	580
Due piedi	Mediana	26,0	37,0	28,0	22,0	68,0	33,0	-18,0	21,0	-12,0	395
	Minimo	12,0	20,0	13,0	11,0	63,0	17,0	-22,0	10,0	-14,0	370
	Massimo	57,0	60,0	36,0	28,0	74,0	42,0	-9,0	34,0	8,0	840

Discussione

Questo studio preliminare ha mostrato valori angolari di flessione dell'arto inferiore simili a quelli raccomandati per la prevenzione degli infortuni da sovraccarico (Cassel, 2001). Non sono state riscontrate differenze cinematiche tra le due tecniche. Sono auspicabili studi ulteriori anche con raccolta di dati relativi anche alla dinamica e non limitati alla cinematica.

3.8 *Discussione e conclusioni metodologiche*

Questi studi preliminari hanno permesso di sperimentare e mettere a punto sia il sistema stereofotogrammetrico sia il disegno sperimentale per l'acquisizione delle prestazioni di muro e degli esercizi speciali per l'allenamento.

Con solo 6 telecamere si sono incontrate particolari difficoltà nella cattura e ricostruzione delle traiettorie dei markers dovute alle frequenti e numerose occlusioni che si verificano durante gli spostamenti ed in particolare nel passo incrociato perché le gambe si sovrappongono e anche per il movimento delle braccia che nello slancio nascondono parte dei markers del tronco. Tale problematica si è verificata sia con i markers da 14 mm (vedi discussione dello studio presentato al convegno IASK 2005 descritto al Cap. 3.4) che con quelli da 25 mm. Acquisizioni di muro con spostamento sono state effettuate infatti anche col PIG e markers da 25 mm ma le problematiche incontrate sono state le stesse e per il Congresso ISBS 2006 infatti ci si è limitati all'analisi del solo salto verticale.

Queste difficoltà hanno suggerito l'utilizzo di markers aggiuntivi e ridondanti e a questo punto ho deciso di cambiare anche il marker set scegliendo il CAST e adattando il set-up di conseguenza. Le telecamere sono state poste ai lati della rete e i markers soprattutto sulle parti laterali del corpo dell'atleta.

La necessità di procedere anche con la calibrazione anatomica ha richiesto tempi più lunghi in fase di acquisizione ma è risultata facilitata la successiva fase di "tracking" e "labelling" e si sono così potute scartare meno prove dalla successiva ricostruzione dei centri articolari per l'analisi cinematica e la successiva elaborazione statistica.

4 SOGGETTI

I soggetti dei quali sono state acquisite le prestazioni di muro e negli esercizi speciali nell'ambito di questa ricerca sono stati 10 giocatori partecipanti al campionato 2005-2006 di serie B1 maschile.

Si riportano di seguito in tabella le caratteristiche antropometriche ed anagrafiche, il ruolo di gioco e la zona di specializzazione a muro.

Tabella 4-1 Caratteristiche antropometriche dei soggetti volontari (acquisizioni 2006)

-	peso	altezza	età	Ruolo	Zona di specializzazione a muro
SOG.1	82	194	37	Palleggiatore	2
SOG.2	81	183	21	Palleggiatore	2
SOG.3	82	196	24	Schiacciatore	4
SOG.4	95	193	26	Centrale	3
SOG.5	80	188	24	Schiacciatore	4
SOG.6	91	194	29	Centrale	3
SOG.7	92	197	27	Centrale	3
SOG.8	85	192	25	Schiacciatore	4
SOG.9	95	193	31	Schiacciatore	4
SOG.10	84	194	23	Opposto	2
MEAN	86,7	192,4	26,7	Specializzazione	
SD	5,6	3,9	4,4		

Ogni soggetto dopo un riscaldamento generale di 15 minuti ha completato con una fase specifica (Cometti et al., 2005a; Cometti et al., 2005b) effettuando in successione le seguenti prove: Tre Squat jump (3), Tre Countermovement jump (3), 3 Test per la valutazione della Stiffness effettuando 5 salti consecutivi sul posto (15), Due CMJ consecutivi (4), e 3 Salti a muro sul posto tipo COMMIT (3).

Queste prove hanno avuto anche lo scopo di “familiarizzare” l’atleta col sistema di acquisizione.

Per l'analisi della biomeccanica del muro e degli esercizi speciali sono state poi effettuate in successione le seguenti prove:

- 1) Partendo da posizione di attesa (READ BLOCK) l'atleta reagisce nella direzione di spostamento indicata dall'allenatore tra le due possibili: verticale e verso Dx per la simulazione del muro in zona 2 e verticale e verso Sx nel caso del muro in zona 4. Per ogni tipo di muro sono state acquisite almeno 2 prove: accostato e salto verso DX e SX (2 + 2); incrociato e salto verso DX e SX (2 + 2); salto sul posto (2) in zona 2 e (2) in zona 4 (2 per ogni tipo di passo per un totale di 4+4).
- 2) Esercizi speciali con bilanciere Kg 8: accostato e salto verso DX e verso SX (2+2); incrociato e salto verso DX e verso SX (2+2).
- 3) Esercizi speciali con caduta dallo step: ricaduta + accostato verso DX o verso SX e salto (2+2); ricaduta + incrociato verso DX e verso SX e salto (2+2).

Il numero totale dei salti acquisiti ai fini di questa tesi è perciò risultato di 32 nei quali gli atleti hanno espresso il massimo impegno sia attentivo (la situazione di "sfida" che è creata nelle acquisizioni di simulazione del muro Read) che muscolare (per raggiungere la massima elevazione e lunghezza dello spostamento).

5 PROCEDURE

Vengono descritte di seguito le istruzioni date agli atleti per l'esecuzione delle varie prove.

Tali esercizi sono stati scelti tra i tanti utilizzati dagli allenatori e proposti perché non richiedendo particolari attrezzature per la loro realizzazione sono facilmente utilizzabili da squadre di tutti i livelli. In tal modo i risultati di questo studio potranno essere facilmente trasmessi ed estesi a un numero maggiore di squadre e giocatori di tutti i livelli tecnici: scopo della ricerca scientifica applicata allo sport deve essere infatti quello di fornire indicazioni per il più ampio numero di allenatori ed atleti.

5.1 SALTI A MURO

5.1.1 Il muro d'ala con tecnica Read

Il giocatore si posiziona a muro di fronte a rete: posizione di partenza del muro in lettura (vedi pag.11), con le mani alte e le gambe semipiegate (Coleman and Coleman, 1996) pronto a reagire all'alzata.

Nella situazione sperimentale l'azione dell'alzatore avversario è simulata dall'allenatore attraverso lo spostamento dello stick (lo stesso utilizzato per la calibrazione anatomica vedi Fig.3.4) che se mosso verso l'alto simula un'alzata in "primo tempo", cui il giocatore deve reagire con un salto verticale, mentre se ruotato simula un'alzata all'ala alla quale il giocatore deve reagire con uno spostamento laterale.

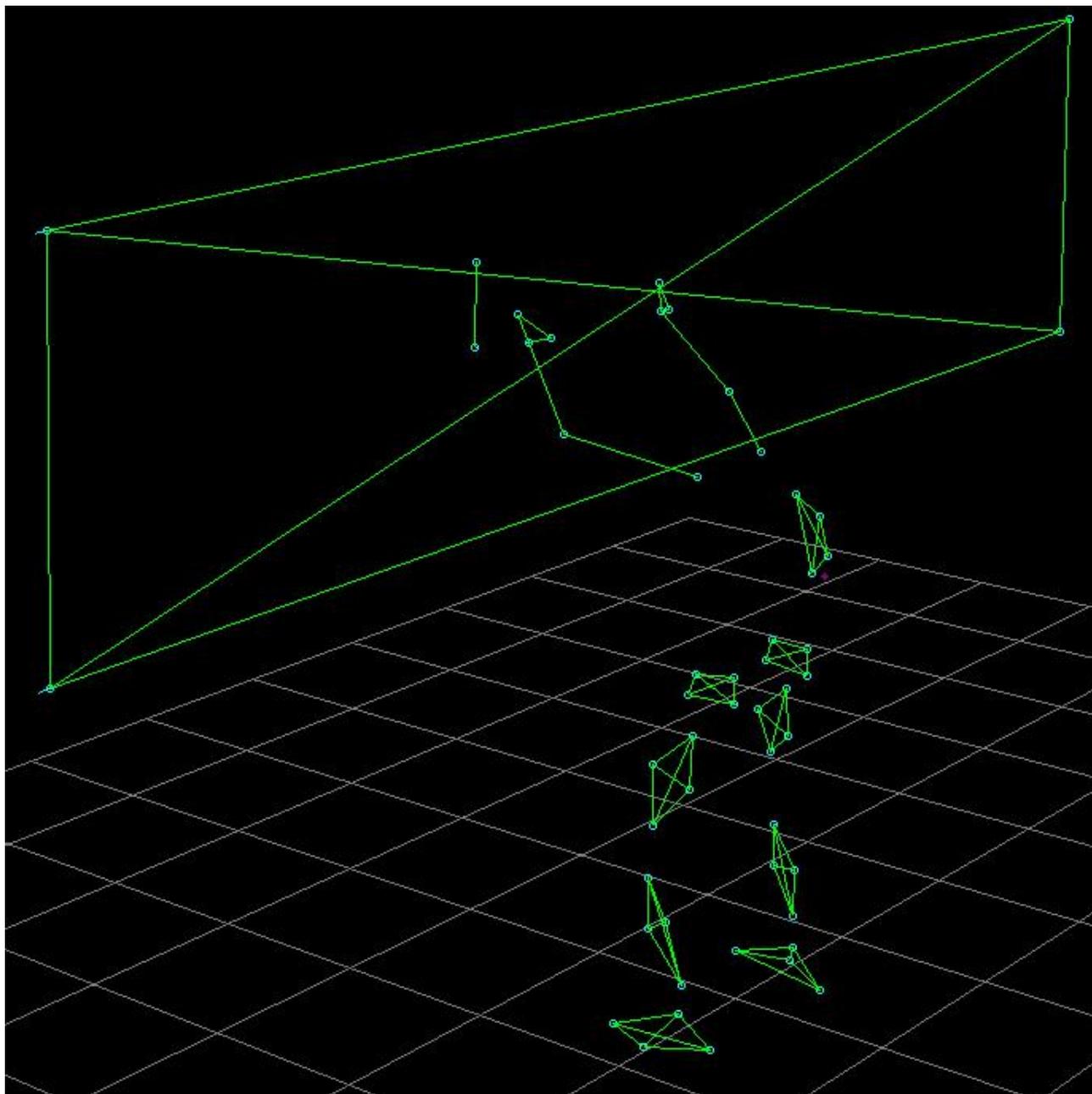
Si è simulata dapprima la situazione del giocatore in zona 2 il quale nel gioco reale deve reagire con un salto verticale nel caso di alzata in "primo tempo" (in particolare una tesa) e verso destra nel caso di un'alzata allo schiacciatore d'ala.

Analogamente per la simulazione del muro in zona 4 nel gioco reale si deve reagire con un salto verticale nel caso di alzata in "primo tempo" (in particolare una veloce dietro) e verso sinistra nel caso di un'alzata allo schiacciatore d'ala.

La tecnica di spostamento (Slide o Cross) veniva definita prima di ogni prova e trattandosi di simulazione di un muro l'atleta doveva ricercare la massima elevazione e verticalità del salto, la massima lunghezza dello spostamento e penetrare il più possibile con le mani oltre la rete.

Questa procedura di simulazione del muro in laboratorio ha permesso oltre all'analisi cinematica della tecnica utilizzata nella tattica Read (sia nel salto verticale che in caso di spostamento) anche la misurazione ed analisi dei tempi di reazione dallo Start all'inizio del movimento (somma dei tempi di percezione, elaborazione e reazione motoria).

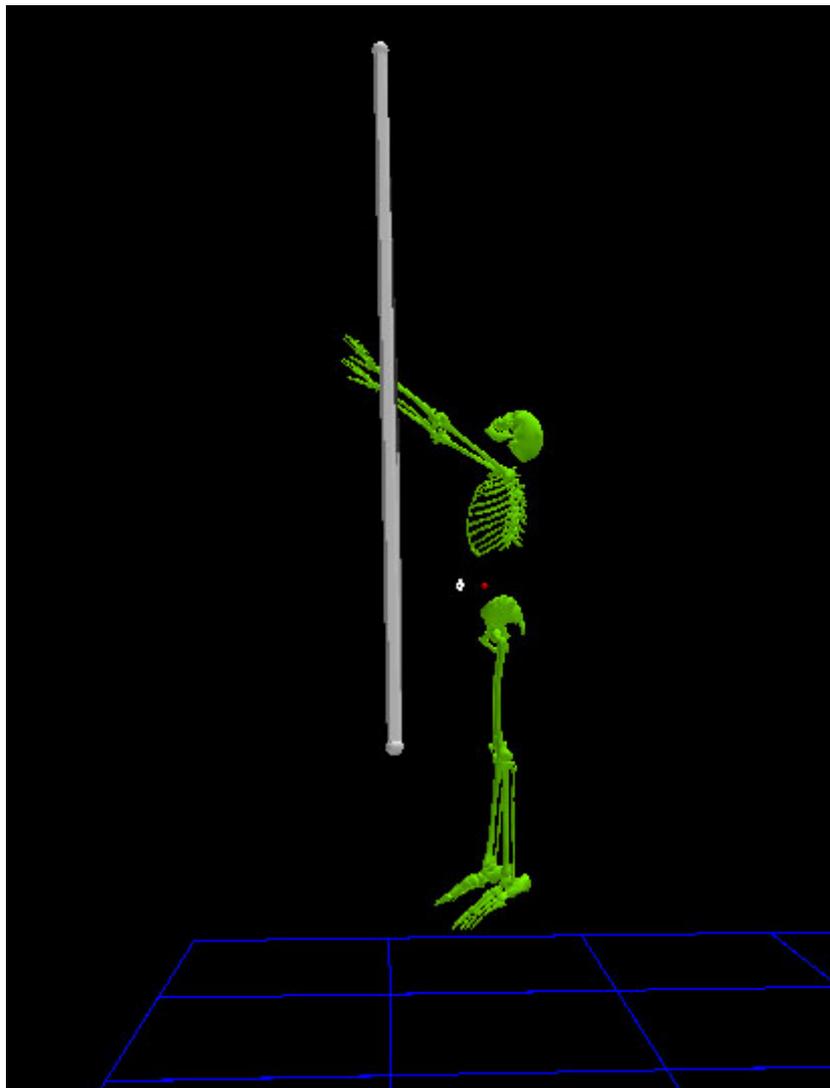
Fig. 5-1 Posizione di partenza del giocatore a muro e pronto a reagire allo spostamento dello stick.



5.1.2 Il muro con tecnica Commit

Il giocatore si posiziona a muro al centro della rete e salta al massimo per simulare una situazione di muro Commit su attacco in “primo tempo”. La posizione di partenza delle mani è in questo caso libera (generalmente più bassa rispetto alla tecnica Read) ed effettuando un contromovimento maggiore l'atleta salta a muro il più alto possibile e cercando di andare con le mani oltre la rete il più possibile vicino alla palla.

Fig. 5-2 Muro con tecnica Commit alla massima elevazione.



5.2 ESERCIZI SPECIALI

Si tratta di esercizi tipici dell'allenamento del muro che sono utilizzati da molte squadre nelle fasi di riscaldamento degli allenamenti tecnici e come esercizi di "concatenazione" (Cometti, 1997; Cometti, 1998; Verchoshanskij, 1997; Verchoshanskij, 2001b) o "trasformazione immediata" nelle sedute di allenamento in sala pesi. Tali esercizi sono stati proposti in accordo con i Preparatori Fisici degli atleti esaminati.

Tutti gli atleti sapevano eseguire correttamente gli esercizi tecnici: la maggiore difficoltà è stata, in fase di acquisizione, l'esecuzione del passo incrociato (cross) degli esercizi speciali perché spesso la tendenza naturale è per un'esecuzione preceduta da una piccola apertura (il "jab cross-over" di Cox). In tal caso le prove sono state ripetute e solo per un atleta (SOG.2), che ha manifestato notevoli difficoltà nell'esecuzione di questa tecnica non è stato possibile raccogliere dati attendibili per gli esercizi speciali col passo incrociato.

A differenza dello studio preliminare si è scelto di non analizzare le esecuzioni di passo accostato-incrociato in quanto non avrebbe avuto senso confrontare poi questo tipo di spostamento costituito da due passi con gli altri due tipi di tecnica caratterizzati da un passo singolo. Inoltre nel gioco se ne è verificato uno scarso utilizzo nel caso di muro d'ala ed essendo i giocatori d'ala numericamente il doppio rispetto ai centrali si è scelto di concentrarsi sulle tecniche più frequentemente utilizzate e automatizzate dalla maggior parte dei giocatori.

5.2.1 L'esercizio con piccolo sovraccarico: asta del bilanciere da 8 Kg.

L'atleta parte vicino a rete con un bilanciere da 8 kg sulle spalle. Si è scelto di utilizzare la sola asta del bilanciere con un peso corrispondente circa al 10% del peso corporeo della maggior parte dei giocatori, sia per ragioni pratiche, così come spesso avviene in palestra, ma anche perché in tal modo un sovraccarico così leggero non incide sulla coordinazione modificando la struttura del movimento. La qualità condizionale su cui si vuole influire con tale esercizio è quindi sempre la forza veloce. La tecnica di spostamento utilizzata è un passo accostato (slide) o incrociato (cross) alla fine del quale l'atleta effettua un salto verticale sempre mantenendo il bilanciere appoggiato sulle spalle. Anche in questo caso all'atleta è richiesto di esprimere la massima velocità e lunghezza dello spostamento, la massima elevazione e verticalità del salto.

5.2.2 L'esercizio con ricaduta, spostamento e salto.

L'atleta ricade da uno step alto 15 cm posto alla distanza di 1.00 m dalla rete. La ricaduta avviene su due piedi in avanti. La distanza (circa ad 1 metro) dalla rete alla quale il giocatore ricade è la stessa dalla quale avveniva la partenza delle prove relative al muro Read,. Immediatamente dopo la ricaduta l'atleta si sposta lateralmente per effettuare un muro all'ala. La qualità condizionale su cui si vuole influire con tale esercizio è la forza reattivo-esplosivo-balistica. La tecnica di spostamento utilizzata è un passo accostato (slide) o incrociato (cross) alla fine del quale l'atleta effettua un salto verticale sempre mantenendo il bilanciere appoggiato sulle spalle. Anche in questo caso all'atleta è richiesto di esprimere la massima velocità e lunghezza dello spostamento, la massima elevazione e verticalità del salto.

5.3 ELABORAZIONE CON MATLAB

A partire dalle coordinate spaziali dei markers durante le prove e dei punti di reperi articolari ricostruiti attraverso i dati delle calibrazioni anatomiche del soggetto sono stati calcolati i centri di massa segmentari e del COM secondo quanto proposto da Zatsiorsky (1990; Zatsiorsky, 2002) con le modifiche di De Leva (1996).

In particolare si è scelto, per questa ricerca relativa all'analisi delle eventuali similitudini e differenze tra esercizi speciali e prestazione di muro, di riferirsi al centro di massa ridotto (COMr) relativo ai soli arti inferiori e al tronco. Si sono così esclusi dai calcoli il capo e gli arti superiori in conseguenza delle difficoltà di ottenere delle traiettorie "pulite" dei markers degli arti superiori in quanto con sole 6 telecamere e di markers da 14 mm ci si trova di fronte a un notevole numero di gaps nelle traiettorie dei markers posizionati sul gomito e sulle mani.

Le traiettorie dei markers sono state filtrate secondo quanto proposto da Cappello (Cappello et al., 1996).

5.3.1 Determinazione degli eventi.

Per l'identificazione degli eventi è stato utilizzato il seguente procedimento: è stata inizialmente effettuata la differenza fra due valori consecutivi della coordinata di un punto di reperi. Successivamente è stato rilevato il passaggio di questa differenza attraverso un valore di soglia prefissato determinato in base all'accuratezza del sistema (pari a 1.5 mm).

In questo modo, è stato possibile rilevare sia l'inizio che la fine del movimento per tutti i punti di reperi analizzati. In particolare per il contatto e il distacco dei piedi (che identificano le fasi del salto) sono stati presi in considerazione il tallone, la prima testa metatarsale e la quinta testa metatarsale. Il take off è stato identificato maggiormente nella quinta testa metatarsale per entrambi i piedi, mentre lo strike del piede perno è stato prevalentemente con il tallone nel caso del cross e con la prima testa metatarsale per lo slide; il piede puntello invece ha toccato il terreno prevalentemente con l'esterno del piede (quinta testa metatarsale), poi con la punta e infine col tallone.

Anche per la determinazione del primo movimento del soggetto, in particolare per misurare il tempo di reazione, è stato utilizzato il procedimento appena descritto. Per l'identificazione degli eventi è stata effettuata la differenza fra due valori consecutivi

della coordinata del COMr ed è stato rilevato il passaggio di questa differenza attraverso il valore di soglia di 1.5 mm (determinato in quanto tale è risultata l'accuratezza del sistema di acquisizione delle posizioni dei markers). In questo modo, è stato possibile rilevare l'inizio del movimento sia dello stick che del giocatore e misurare così il tempo di reazione come differenza tra questi due eventi.

5.3.2 Definizione delle variabili cinematiche.

A partire dalla identificazione degli eventi è stato possibile determinare le seguenti variabili:

1) Dati temporali

La misurazione della durata del movimento e delle sue fasi deriva dal calcolo del numero di fotogrammi in essi compresi. Il tempo viene quindi espresso in base al numero di fotogrammi nell'unità di tempo (frames/sec). Le riprese sono state acquisite con una frequenza di 100 fotogrammi al secondo (100 Hz) perciò la differenza tra gli eventi ha permesso di determinare la durata delle varie fasi del movimento in centesimi di secondo.

Sono state definite le seguenti fasi del movimento:

- a) **Tempo di reazione (Reaction Time vero e proprio):** lo start, cioè lo stimolo visivo per l'atleta, è stato individuato nel primo frame nel quale il marker distale dello stick è stato mosso verso l'alto o lateralmente mentre il frame di inizio del movimento è individuato nel primo spostamento del COMr dalla posizione di partenza.
- b) **Fase preparatoria (Preparatory phase)** viene calcolata dal frame di inizio del movimento fino al momento corrispondente al valore minimo della componente verticale del COMr nel caso di salto verticale. Nel caso di muro con spostamento inizia al momento di contatto (strike) del piede puntello e termina al minimo valore del COMr (componente verticale) prima del salto. Identifica perciò una fase di contromovimento.
- c) **Fase di spinta (Push-Off phase o Portioned Impulse Phase)** inizia col frame di massimo caricamento (min del COMr) e termina al momento dello stacco per il salto (Take Off Jump).
- d) **Fase di salita del salto (Portioned Free Flight Phase)** inizia con lo stacco del piede perno e termina al momento di massima elevazione del COMr.
- e) **Tempo di volo (Flight phase)** inizia con lo stacco e termina con la ricaduta (land).

- f) Tempo totale di muro (Block Execution Time): parte con lo start e termina con la ricaduta.
- g) Tempo effettivo di muro (Time to arrive at max elevation): inizia con lo start e termina al momento di massima elevazione.
- h) Durata apertura (Open Phase): facendo riferimento al piede perno (Pivot Foot) inizia col momento di stacco di questo (Take Off Pivot Foot) e termina con l'appoggio di questo che precede il salto (Strike Pivot Foot).
- i) Durata chiusura (Close Phase): dal momento di stacco (Take Off Support Foot) del piede puntello all'appoggio di questo prima del salto (Strike Support Foot).
- j) Tempo di contatto piede perno (Contact Time Pivot Foot): inizia con l'appoggio del piede perno (Strike Pivot Foot) e termina allo stacco per il salto (Take Off Jump).
- k) Tempo di contatto piede puntello (Contact Time Support Foot): inizia con l'appoggio del piede puntello (Strike Support Foot) e termina al momento dello stacco per il salto (Take Off Jump).

2) Dati spaziali lineari

Nella misurazione degli spazi in cui viene eseguito il movimento o una sua parte sono state considerate le coordinate del COMr o del centro articolare della caviglia (quando ci si riferisce alle lunghezze dei passi e ai piedi) proiettati sul piano della rete.

Sono state definite le seguenti variabili spaziali:

- a) Movimento totale sull'asse verticale (Range of Movement): si calcola la distanza tra la minima e massima altezza raggiunta dal COMr durante il movimento.
- b) Elevazione (Elevation): è calcolata come differenza tra il massimo valore raggiunto nel salto e il valore allo stacco (componente verticale del COMr).
- c) Fase caricamento (Gathering Phase) viene calcolata come differenza sulla componente verticale del COMr, tra il valore di questa coordinata al momento dello start (nel caso di salto verticale) o dell'appoggio del piede puntello (nel caso di spostamento) e il valore al massimo caricamento.
- d) Distanza totale percorsa (Block Distance): è la distanza calcolata sulla componente orizzontale del COMr tra la posizione di inizio movimento e il punto raggiunto al momento della massima elevazione.
- e) Lunghezza passo di apertura (Open Step): è la distanza percorsa dal piede perno dalla partenza all'appoggio prima del caricamento per il salto.

- f) Lunghezza del passo di chiusura (Close Step): è la distanza percorsa dal piede puntello dalla posizione di partenza all'appoggio prima del salto.
- g) Distanza tra i piedi in posizione di partenza (Feet Distance at Starting): è la distanza tra i piedi sulla componente orizzontale parallela a rete.
- h) Distanza tra i piedi allo stacco (Feet Distance at Take Off): è la distanza tra i piedi (componente orizzontale) al momento dello stacco per il salto.

3) Velocità

E' stata misurata la velocità del COMr nella sua componente verticale ed orizzontale e sono state analizzate in particolare:

- a) La massima velocità verticale (Max Vertical velocity).
- b) La massima velocità orizzontale raggiunta durante lo spostamento (Max Horizontal velocity).
- c) La velocità orizzontale allo stacco (Horizontal velocity at take off)

4) Rapporti con la rete

Sono stati calcolati gli angoli fra il sistema di riferimento della rete e il sistema di riferimento del tronco e della pelvi. Per l'analisi della frontalità è stata presa la rotazione attorno all'asse verticale della rete. I valori negativi si riferiscono a rotazione verso destra e quelli positivi verso sinistra.

L'angolo di rotazione corrispondente alle varie fasi del movimento è stato considerato determinante per la valutazione della frontalità e orientamento del corpo nell'esecuzione del muro allo momento dello stacco e alla massima elevazione.

5) Angoli articolari

Sono stati registrati gli angoli relativi alla flessione - estensione di anca, ginocchio e caviglia sia dell'arto perno che di quello puntello nelle varie fasi del movimento. In questa tesi ai fini del confronto tra prestazione ed esercizio sono stati considerati i valori relativi al momento nel quale termina la fase preparatoria ed inizia quella di spinta per il salto: è il momento al quale avviene l'inversione della direzione di spostamento e il contromovimento.

La misurazione dei dati angolari è stata effettuata secondo le definizioni ed indicazioni di Kapandji (1974).

5.4 ANALISI STATISTICA

Le prove acquisite di ogni soggetto che hanno portato all'elaborazione dei dati relativi alle variabili identificate non sono state in pari numero per tutti i soggetti per ogni tipo di movimento per due ordini di motivi: alcune prove sono state scartate perché non eseguite correttamente e anche per i numerosi gaps nelle traiettorie dei markers dovuti ad alcune occlusioni che avvengono inevitabilmente nell'esecuzione del movimento nonostante le attenzioni avute nella scelta del marker set e del set-up telecamere.

Abbiamo perciò provveduto a selezionare le prove secondo il seguente criterio: è stata considerata e scelta come migliore (così come fatto in precedenza da Quade nella sua analisi dei salti della pallavolo e Kwack et al. nel loro studio sugli spostamenti a muro) la prova per ogni tipo di esercizio nella quale fosse stata espressa la massima elevazione. Questa scelta è in linea anche con le considerazioni di Peter Vint espresse nella sua analisi qualitativa delle componenti determinanti la prestazione di muro.

Si è dapprima proceduto con la statistica descrittiva. Il C.V. è stato considerato per un'analisi della variabilità dei dati. A questo proposito abbiamo considerato come molto stabili valori di C.V. minori di 10%. e sufficientemente omogenei valori compresi tra il 10 e il 15%. Tra il 15 e il 20% i dati sono da considerare come poco variabili. Valori superiori indicano una notevole variabilità.

Dato il ridotto numero di soggetti e la non omogeneità di varianza sono stati poi utilizzati secondo le indicazioni di Thomas e Nelson (Thomas and Nelson, 2001) dei test non parametrici calcolato con l'utilizzo del programma SPSS.

Il Test di Friedman (per k variabili dipendenti) è stato utilizzato per identificare eventuali differenze significative tra tutte le tipologie di muro (verticale, accostato a destra, incrociato a destra, accostato a sinistra, incrociato a sinistra) e tra la prestazione di muro e gli esercizi speciali nell'esecuzione di un determinato tipo di spostamento in una specifica direzione (ad esempio le esecuzioni con il passo accostato verso destra nella situazione di simulazione del muro Read, con il bilanciare e con caduta dallo step sono state confrontate tra loro per la variabile lunghezza dei passi).

Per le variabili risultate significative a questa prima analisi si è proceduto con il Test di Wilcoxon (per 2 variabili dipendenti) secondo il seguente schema:

- nel muro Read il salto verticale è stato confrontato con le quattro possibilità di muro con spostamento;
- i due tipi di passo (accostato e incrociato) sono stati confrontati a seconda della direzione.

- per il confronto muro - esercizio per ogni tipo di spostamento e per ogni variabile sono stati confrontati i valori ottenuti nella prestazione di muro Read con l'esercizio con il bilanciare e con lo step, e nei due esercizi tra loro.

Inoltre per escludere l'ipotesi che eventuali differenze evidenziate (asimmetrie rappresentate dalla mancanza di specularità dei risultati ottenuti nelle due direzioni con lo stesso tipo di tecnica) potessero essere dovute al ruolo di specializzazione si è proceduto ad un'analisi col test di Mann-Whitney (per 2 variabili dipendenti) tra 2 gruppi di giocatori individuati a seconda del ruolo di specializzazione a muro: centrali, opposti e palleggiatori (3+3 per un totale di 6) sono stati confrontati con gli schiacciatori (4).

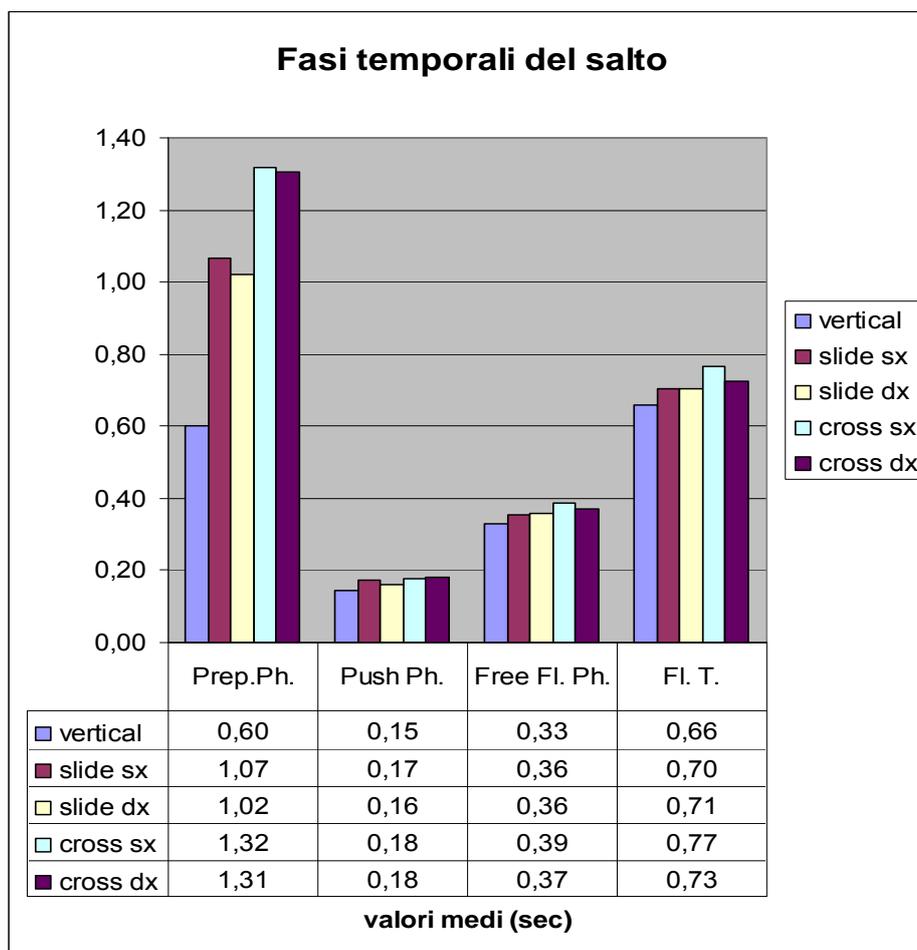
Per tutti i tre tipi di test è stato scelto un livello di significatività $\alpha=0,05$.

6 RISULTATI E DISCUSSIONE

6.1 Biomeccanica del muro: confronto tra salto sul posto e spostamento laterale nelle due direzioni secondo la tipologia di tecnica utilizzata

6.1.1 Variabili temporali

Grafico 6-1 Fasi temporali delle 5 tipologie muro analizzate.



La fase preparatoria occupa la maggior parte del tempo totale di muro (43 – 59 %) e mostra una notevole variabilità. Lo spostamento incide per circa il 50 % sulla durata di questa fase e varia a seconda delle diverse tecniche. La fase di spinta infatti è risultata simile in tutti i tipi di salto così come le fasi di volo (parziale e totale).

Tabella 6-1 Percentuale delle varie fasi del salto a muro nelle diverse tecniche

% durata totale	Prep. Ph.	Push Off Ph.	Free Fl. Ph.	Flight Time
vertical	43	10	23	47
slide sx	55	9	18	36
slide dx	54	8	19	37
cross sx	58	8	17	34
cross dx	59	8	17	33

FASE PREPARATORIA

Tabelle 6-2 Durata della Fase Preparatoria nelle diverse tecniche

	PrphV (sec)	PrphSS (sec)	PrphSD (sec)	PrphCS (sec)	PrphCD (sec)
Media	0,60	1,07	1,02	1,32	1,31
dev. St.	0,10	0,08	0,10	0,11	0,14
mediana	0,63	1,09	1,05	1,35	1,25
Min	0,47	0,87	0,84	1,07	1,17
Max	0,78	1,14	1,15	1,44	1,64
C.V	16	7	10	9	11

La durata della fase preparatoria mostra differenze significative ($\chi^2 (4) = 34,64$ n=10 p=0,000) a seconda della tipologia di muro utilizzata.

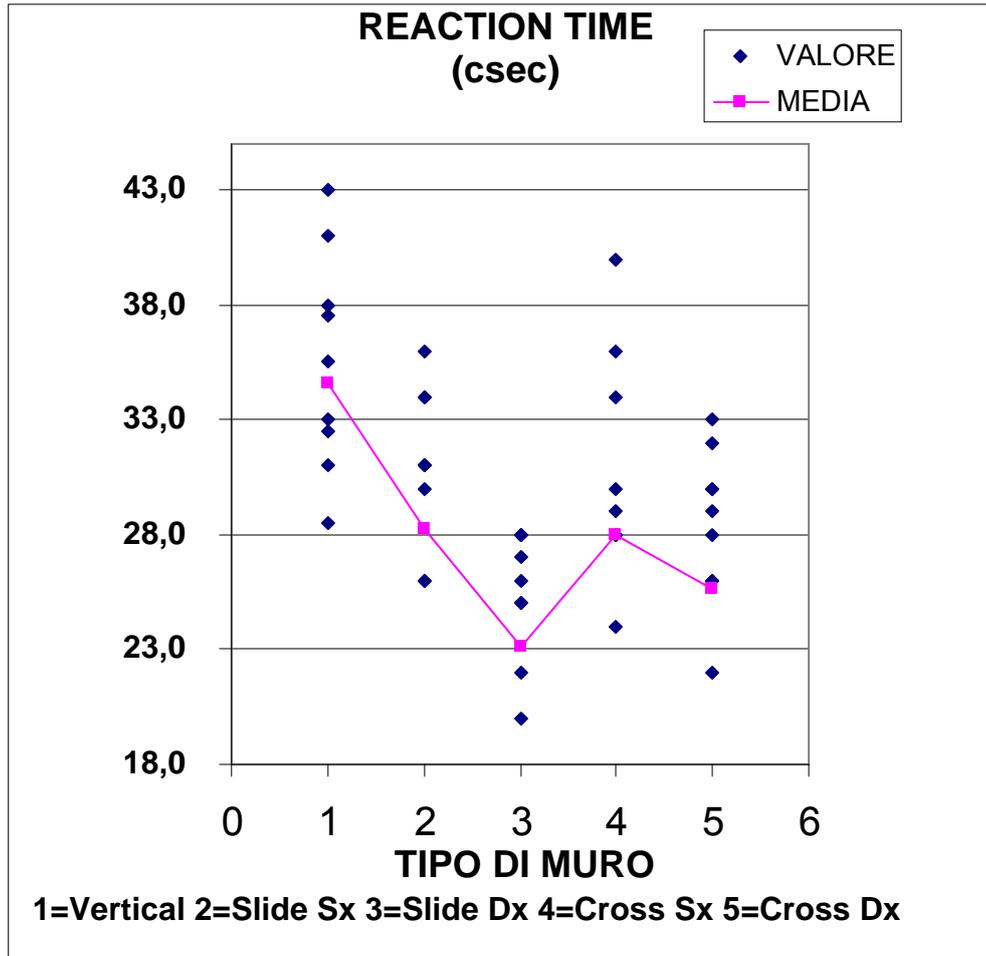
Tabella 6-3 Durata della Fase Preparatoria Test di Wilcoxon

Test di Wilcoxon								
Fase Preparatoria (è evidenziato quando il piede perno è il destro)								
Fase Preparatoria	SS - V	SD - V	CS - V	CD - V	SD - SS	CD - CS	CS - SS	CD - SD
Z	-2,805	-2,810	-2,803	-2,805	-0,663	-0,102	-2,701	-2,803
Sig. Asint. a 2 code	0,005	0,005	0,005	0,005	0,507	0,919	,007	,005

In particolare quando si salta sul posto in reazione allo stimolo, la fase preparatoria è sempre più breve rispetto al muro con spostamento (p=0,005), e, mentre non si evidenziano differenze tra direzioni a parità di tecnica utilizzata, nel confronto tra tipologie di passo (slide e cross) questa fase risulta significativamente più breve col passo accostato (p<0,01) in entrambe le direzioni.

La fase preparatoria, così come è stata misurata, comprende sia il tempo di reazione (RT), inteso come il tempo intercorso dal segnale di Start all'inizio del movimento, sia la durata dello spostamento e del caricamento per il salto.

Grafico 6-2. Valori e medie relative ai tempi di reazione nelle diverse tipologie di muro analizzate (Lobietti et al., in preparazione)



Dall'osservazione dei valori medi di RT possiamo affermare, relativamente a questa variabile, che questi soggetti si sono dimostrati più reattivi quando erano chiamati a eseguire lo Slide verso DX ($25,4 \pm 2,7$ csec), mentre sono stati più lenti nella reazione quando dovevano eseguire un Vertical Jump ($34,3 \pm 5,4$ csec).

L'analisi statistica attraverso Test T per dati accoppiati al fine di determinare eventuali differenze tra i tipi di spostamento - Slide ($28,0 \pm 4,1$ csec) e Cross ($28,0 \pm 4,2$

csec)- non ha permesso ($t = 0,24$) di affermare che esistano differenze significative tra i due tipi di spostamento in dipendenza della direzione.

Quando la direzione di spostamento era verso sinistra il tempo di Reazione è risultato maggiore ($34,0 \pm 3,9$ csec), rispetto a quanto riscontrato verso destra ($28,0 \pm 3,3$ csec).

Il risultato del Test T per dati accoppiati ($t = 0,006$) ha permesso di affermare tale differenza come significativa in dipendenza del tipo di tecnica.

Il confronto tra il vertical jump e il muro con spostamento ha mostrato differenze significative rispetto agli spostamenti verso destra ($t = 0,0009$ con lo SL DX e $0,007$ con il CR DX) ma non verso sinistra ($t = 0,15$ con lo SL SX e $0,14$ con il CR SX).

Discussione

Tenendo conto che la fase preparatoria comprende il Tempo di Reazione, la durata dello spostamento (riferita al passo di apertura) e il caricamento si può affermare che gli atleti hanno mostrato valori di prestazione diversi a seconda della tecnica utilizzata. In particolare il tempo di reazione è risultato più breve quando sono stati chiamati ad effettuare uno spostamento laterale (Slide o Cross) piuttosto che un salto verticale (Vertical Jump). Si può ipotizzare che tale comportamento dipenda nel fatto che il muratore d'ala deve prima di tutto essere pronto a murare il proprio avversario diretto, quindi a spostarsi verso l'esterno, piuttosto che a murare il centrale avversario con un salto verticale, compito specifico del centrale della propria squadra.

FASE DI SPINTA

Tabella 6-3 Durata della Fase di Spinta nelle diverse tecniche

	PuphV	PuphSS	PuphSD	PuphCS	PuphCD
	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)
Media	145	204	186	156	183
dev. St.	60	53	80	58	54
mediana	115	195	175	150	170
Min	70	120	80	100	130
Max	230	280	330	310	300
C.V	42	26	43	37	29

La durata della fase di spinta invece non ha mostrato differenze significative ($\chi^2 (4) = 3,73$ $n=10$ $p=0,444$) tra le diverse tipologie di muro e sono comparabili con quelli degli atleti coreani (Slide 218 ± 44 msec e Cross 160 ± 23 msec) che si riferivano

esclusivamente a spostamenti verso destra di 2,70 m quindi tipici dei centrali (Kwak C.S. et al., 1989).

Questo risultato indica che la durata della fase di spinta non è influenzata dallo spostamento e ai fini della scelta dei metodi ed esercizi per l'allenamento della fase di spinta sono da considerare valide, per tutti i tipi di muro, le considerazioni ed indicazioni della letteratura sull'allenamento del salto verticale ed in particolare di Quade (1993), Canavan et al., (1996), Gehri et al. (1998) e Golhofer and Bruhn, (2003).

6.1.1.1 Fasi del salto (Free Flight Phase e Flight Time)

Tabella 6-4 Durata della Fase di Volo nelle diverse tecniche

Tempo di volo	FTphV (sec)	FTphSS (sec)	FTphSD (sec)	FTphCS (sec)	FTphCD (sec)
media	0,66	0,70	0,71	0,77	0,73
dev. St.	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04
mediana	0,67	0,68	0,71	0,76	0,73
min	0,52	0,65	0,63	0,70	0,66
max	0,80	0,82	0,77	0,84	0,78
C.V	12	8	7	7	6

Discussione

Confronto tra tecniche di salto a muro

I valori relativi al Tempo di Volo e alla Portioned Free Flight Phase sono altamente correlati ai valori di elevazione riportati di seguito (vedi Par. 6.1.2). Tale correlazione è stata ampiamente studiata (Bosco et al., 1983) ed è proprio su questa correlazione che si basano i Test di salto normalmente utilizzati per la valutazione della forza degli arti inferiori (Dal Monte and Faina, 1999).

Confrontando i valori medi riportati nel grafico 6-1 con quelli degli studi precedenti si nota:

1) Nel salto verticale i valori relativi al tempo di volo sono maggiori ($0,66 \pm 0,08$ sec) di quelli ottenuti dagli atleti Under 18 ($0,56 \pm 0,02$ sec nel Read e $0,60 \pm 0,01$ sec nel Commit). Tale differenza è giustificata dalla differenza di età (trattandosi di maschi incide notevolmente sulle caratteristiche muscolari) e dal livello tecnico.

2) Nel muro con spostamento il tempo di volo (media 0,71 sec nello Slide e 0,73 sec nel Cross) è risultato maggiore in questa ricerca rispetto ai risultati dello studio precedente su atleti di pari livello (media 0,63 sec nello Slide e 0,65 sec nel Cross). Allo stesso modo la Free Flight Phase (0,36 sec nello Slide e 0,37 sec nel Cross) risulta maggiore

rispetto ai risultati degli atleti coreani sia nelle esecuzioni con passo accostato (media 0,29 sec) che con il cross (media 0,30 sec). Si possono attribuire queste differenze soprattutto al fatto che in questo studio la procedura di acquisizione dei dati relativi alla prestazione di muro ha creato una situazione di “sfida agonistica” nel reagire allo stimolo iniziale dato dall’operatore con lo stick. Questo ha inciso sulla motivazione degli atleti che hanno così espresso migliori prestazioni anche in una situazione di laboratorio, mentre spesso i risultati ottenuti in laboratorio non riescono a riproporre al meglio la situazione di gara.

La Free Flight Phase corrisponde alla metà del tempo di volo: eventuali variazioni sono dovute ad una ricaduta a gambe piegate anziché estese.

Per le ragioni sopra esposte di elevata correlazione tra tempo di volo, elevazione e velocità verticale allo stacco, l’analisi di queste due variabili temporali nel confronto tra le tecniche e le direzioni si rimanda alla discussione dei risultati relativi all’elevazione.

6.1.1.2 Durata totale ed effettiva del muro

Grafico 6-3 Durata Totale ed Effettiva del muro nelle 5 tipologie muro.

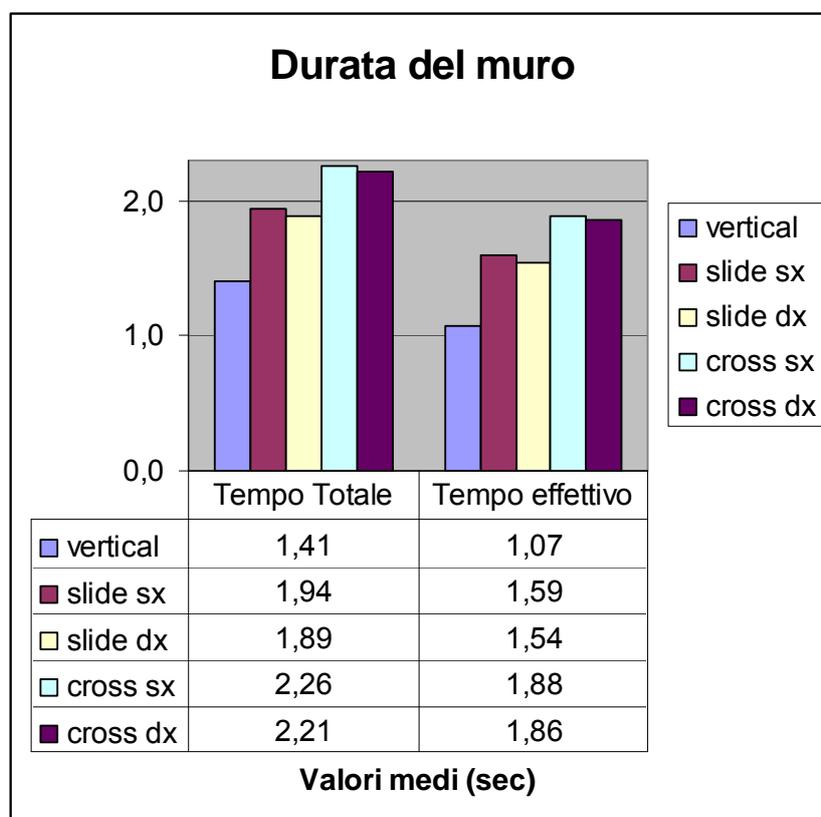


Tabella 6-4 Durata Totale ed Effettiva del muro nelle diverse tecniche

	BexTSS	BexTSD	BexTCS	BexTCD	TeffSS	TeffSD	TeffCS	TeffCD
	(sec)							
Media	1,94	1,89	2,26	2,21	1,59	1,54	1,88	1,86
dev. St.	0,13	0,17	0,11	0,11	0,11	0,15	0,11	0,11
mediana	1,93	1,94	2,27	2,20	1,60	1,58	1,92	1,82
Min	1,64	1,60	2,05	2,05	1,33	1,28	1,64	1,73
Max	2,12	2,10	2,44	2,43	1,72	1,74	2,03	2,10
C.V	7	9	5	5	7	10	6	6

Il Test di Friedman applicato alla durata totale del muro (dallo Start alla ricaduta) ha mostrato differenze significative ($\chi^2(4) = 33,38$ n=10 p=0,000) tra le tipologie di muro. Lo stesso risultato è stato ottenuto per il tempo effettivo di muro, calcolato dallo Start al momento di massima elevazione del COMr ($\chi^2(4) = 34,64$ n=10 p=0,000).

Tabella 6-5 Test di Wilcoxon di confronto tra i valori di Durata Totale ed Effettiva del muro nelle diverse tecniche

Test di Wilcoxon								
Durata Totale del muro (è evidenziato quando il piede perno è il destro)								
Durata Totale del muro	SS - V	SD - V	CS - V	CD - V	SD - SS	CD - CS	CS - SS	CD - SD
Z	-2,803	-2,803	-2,805	-2,805	-0,773	-1,274	-2,705	-2,805
Sig. Asint. a 2 code	0,005	0,005	0,005	0,005	0,444	0,203	0,007	0,005

Il tempo totale di muro nel caso del salto verticale è risultato sempre minore rispetto al tempo totale di muro con spostamento (p=0,005) e, mentre non si sono evidenziate differenze tra direzioni, il confronto tra tipologie di passo ha evidenziato tempi significativamente maggiori nel caso del Cross rispetto allo Slide in entrambe le direzioni (p=0,007 verso SX e p=0,005 verso DX).

Discussione

La durata totale del muro comprende tutta la fase preparatoria, la fase di spinta e il tempo di volo mentre la durata effettiva si differenzia solo per l'ultima fase che termina col momento di massima elevazione anziché con la ricaduta. I valori riportati non sono confrontabili con altri della letteratura poiché negli studi precedenti non sono stati distinti il tempo di reazione, e quelli relativi alla fase di spostamento, di caricamento e di volo.

6.1.1.3 Gli spostamenti

Grafico 6-4 Durata passi e tempi di contatto.

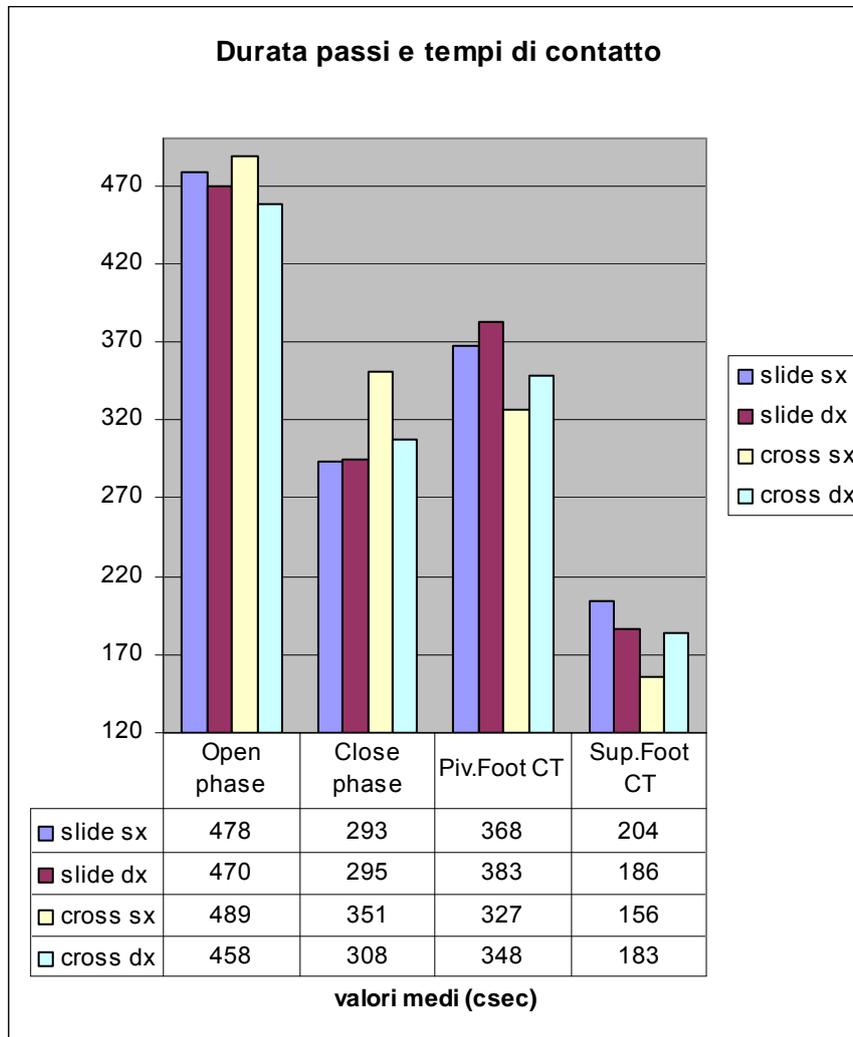


Tabella 6-6 Durata dei passi di spostamento

	Oph SS	Oph SD	Oph CS	Oph CD	Clph SS	Clph SD	Clph CS	Clph CD
	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)	(msec)
Media	478	470	489	458	293	295	351	308
dev. St.	144	82	70	103	56	40	59	44
mediana	535	470	510	450	305	305	360	310
Min	130	340	360	280	210	220	220	250
Max	600	620	560	670	370	350	450	390
C.V	30	17	14	22	19	13	17	14

L'analisi statistica non ha mostrato differenze significative tra le durate dei passi di apertura ($p=0,47$) né di chiusura. ($p=0,56$).

Discussione

I risultati indicano l'omogeneità dei tempi necessari all'atleta per spostarsi di fronte all'attaccante avversario per saltare a muro. Il muro è un fondamentale simmetrico e questi dati lo confermano.

Tabella 6-7 Confronto tra le durate del passo di apertura (dati 2006 e 2005)

Dati 2006		Durata Open Phase (sec)	Dati 2005	
CROSS	SLIDE		SLIDE	CROSS
0,47	0,48	media	0,46	0,44
0,09	0,11	dev. St.	0,07	0,04
0,48	0,50	mediana	0,37	0,36
0,28	0,16	min	0,46	0,36
0,67	0,62	max	0,56	0,51
18,3	23,0	C.V	15,3	8,9

Il confronto con i dati presentati allo IASK 2005 indicano una maggiore variabilità e durate maggiori, specie facendo riferimento al valore della mediana sia per lo slide che per il cross. Possiamo supporre che queste differenze siano da attribuire alle diverse condizioni sperimentali (ricordo che nel 2005 gli atleti partivano a piacere, e non in risposta ad uno stimolo visivo) .

Tabella 6-8 Durata dei tempi di contatto dei piedi nelle diverse tecniche

	PivF SS (msec)	PivF SD (msec)	PivF CS (msec)	PivF CD (msec)	SupF SS (msec)	SupF SD (msec)	SupF CS (msec)	SupF CD (msec)
Media	368	383	327	348	204	186	156	183
dev. St.	71	124	62	59	53	80	58	54
mediana	350	365	330	340	195	175	150	170
Min	270	200	240	260	120	80	100	130
Max	490	610	420	480	280	330	310	300
C.V	19	32	19	17	26	43	37	29

L'analisi statistica non ha mostrato differenze significative tra i tempi di contatto per il piede perno ($p=0,49$) né per il piede puntello ($p=0,06$).

Discussione

La similarità dei tempi di contatto sia del piede perno e del piede puntello indica la stabilità degli automatismi coordinativi. Sulla base dei risultati delle ricerche sui tempi brevi di movimento di Lehmann (Weineck, 2001), il quale aveva mostrato che tali tempi dipendono da programmi motori a breve termine e quindi da fattori coordinativi, non

dalle capacità di forza, noi possiamo affermare che l'allenamento per la riduzione dei tempi di contatto deve essere basato su esercizi di tipo coordinativo.

6.1.2 Variabili spaziali

6.1.2.1 Variabili spaziali verticali

Grafico 6-5 Range di Movimento ed elevazione (componente verticale del COMr) nelle 5 diverse tipologie di muro.

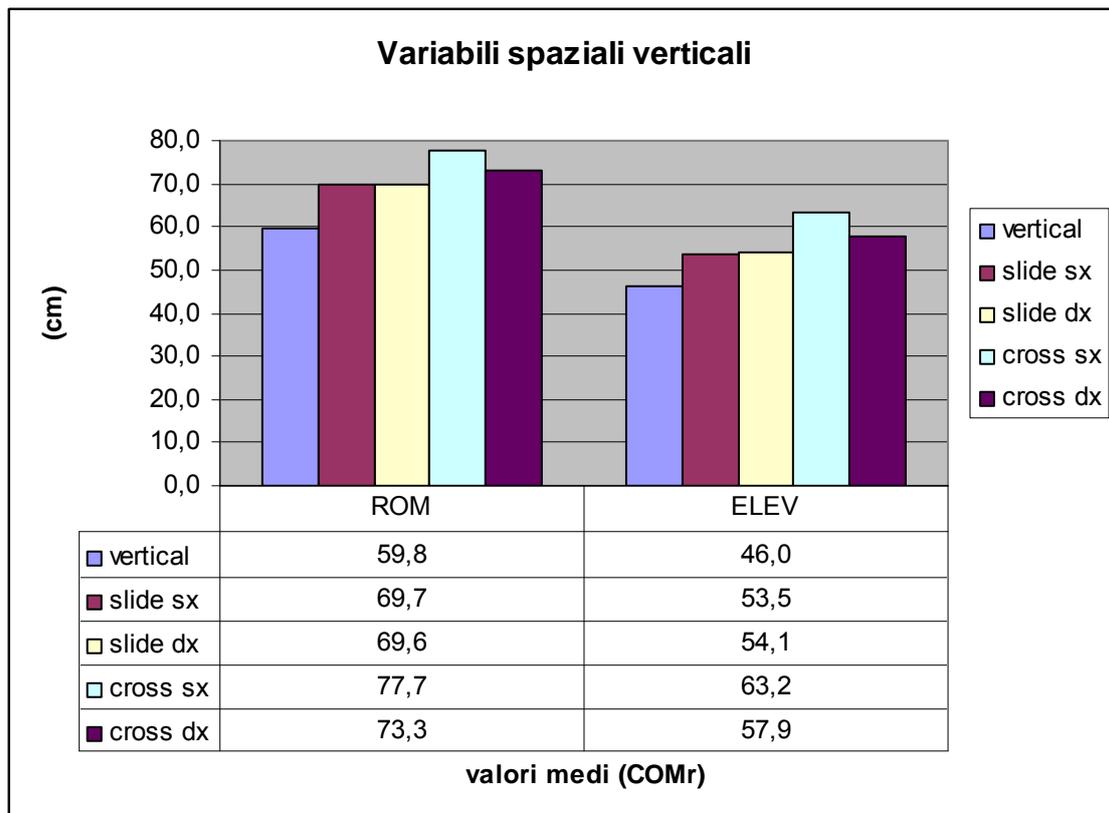


Tabella 6-9 Variabili spaziali verticali (con riferimento al COMr)

	ROM V (cm)	ROM SS (cm)	ROM SD (cm)	ROM CS (cm)	ROM CD (cm)	EL V (cm)	EL SS (cm)	EL SD (cm)	EL CS (cm)	EL CD (cm)
media	60	70	70	78	73	46	53	54	63	58
dev. St.	14	9	10	9	8	8	9	7	9	7
mediana	55	69	70	76	72	47	51	55	62	58
min	39	58	54	64	63	33	44	46	48	47
max	79	83	82	92	90	57	73	64	75	67
C.V	23	13	14	12	11	17	17	13	14	12

Come evidenziato dal grafico 6-5 e riportato in tabella 6-9, i valori relativi allo spostamento del baricentro sulla verticale (ROM) sottoposti al test di Friedman sono

risultati differire in modo significativo tra le tipologie di salto ($\chi^2 (4) = 18,9$ $n=10$ $p=0,001$). In particolare, il muro sul posto è risultato differire in modo significativo al Test di Wilcoxon nel confronto tra tutti i tipi di spostamento ($p<0,01$).

Non sono state evidenziate differenze tra direzioni nell'utilizzo dello slide ($p=0,799$); nell'esecuzione del cross verso sinistra il ROM è risultato più ampio che quando questi atleti si sono spostati verso destra ($p=0,037$). Il Test di Wilcoxon tenendo conto della funzione di piede perno (il piede destro è perno nello slide a destra e nel cross a sinistra e.g.) ha mostrato differenze significative per l'arto destro ($p=0,013$) ma non per il sinistro ($p=0,203$).

L'elevazione nel salto verticale è risultata significativamente minore che nel salto con spostamento ($p=0,005$) mentre non sono state evidenziate differenze significative tra direzioni a parità di tecnica utilizzata. Mentre verso sinistra (zona 4) col passo incrociato gli atleti hanno raggiunto altezze maggiori che col passo accostato ($p=0,007$), verso destra (zona 2) non sono state evidenziate differenze significative tra le due tecniche ($p=0,241$). Per quel che riguarda la funzione di piede perno, l'arto destro ha mostrato differenze significative ($p=0,013$) con migliori prestazioni di salto nel cross verso sinistra rispetto allo slide a destra. Non si può affermare lo stesso per il piede sinistro ($p=0,139$) confrontando la prestazione di salto nel Cross a DX e nello Slide a SX.

Tra gruppi di atleti il Test di Mann-Whitney non ha mostrato differenze significative per il ROM né per l'elevazione nel confronto tra gruppi di giocatori (ruolo di gioco).

Discussione

Questi risultati, in linea con le conclusioni dello studio precedente (Lobietti et al., 2005b), indicano anche che le differenze evidenziate confrontando i dati dell'azione di piede perno dell'arto destro non possono essere attribuite a differenze di ruolo, ma vanno ricercate nella struttura "biodinamica" del movimento. Con tale espressione si intende (Verchoshanskij, 2001b) "un meccanismo di lavoro globale funzionalmente specializzato diretto alla soluzione del compito motorio." Poiché "la struttura biodinamica si forma con l'esercizio e le ripetizioni" e la struttura motorio – coordinativa del passo incrociato verso sinistra coincide con quella della rincorsa d'attacco (il gesto più ripetuto in partita e in allenamento) è giustificato affermare che le migliori prestazioni (in questo caso di elevazione) riscontrate nelle esecuzioni con questa tecnica, sono proprio da attribuire a questa corrispondenza.

6.1.2.2 Variabili spaziali orizzontali

Tabella 6-10 Lunghezza passi di apertura e di chiusura.

Lunghezza Passi	Open Step				Close Step			
	Slide SX (cm)	Slide DX (cm)	Cross SX (cm)	Cross DX (cm)	Slide SX (cm)	Slide DX (cm)	Cross SX (cm)	Cross DX (cm)
media	88	92	204	199	115	115	172	146
dev. St.	31	22	38	40	18	22	42	39
mediana	90	85	220	207	119	107	183	149
max	128	127	250	246	139	145	225	190
min	24	65	128	104	84	84	86	69
C.V.	35	24	19	20	16	19	25	26

La variabile lunghezza dei passi mostra differenze significative sia per l'Open Step ($\chi^2(3) = 19,92$ $n=10$ $p=0,000$) che per il Close Step ($\chi^2(3)=10,73$ $n=9$ $p=0,013$) al Test di Friedman ($\alpha=0,05$) nel confronto tra tipologie di muro.

In particolare nell'apertura si distinguono nettamente i due tipi di passi con valori assoluti quasi doppi per il Cross (intorno ai 2,0 m) rispetto allo Slide (valori < 1,00 m). Tali evidenti differenze sono confermate e sostenute dai risultati del Test di Wilcoxon: $p=0,005$ verso SX e $p=0,007$ verso DX nel confronto tra le tecniche, mentre non sono state evidenziate differenze significative tra le direzioni a parità di tecnica ($p>0,05$).

Per quel che riguarda la funzione di piede perno, entrambi gli arti hanno evidenziato differenze significative per ($p<0,01$) con le maggiori lunghezze percorse nel cross verso sinistra rispetto allo slide a destra (piede destro) e viceversa nel cross verso destra rispetto allo slide verso sinistra (piede sinistro).

Osservando il passo di chiusura, i risultati hanno indicato un analogo comportamento. Lo slide è risultato simile nelle due direzioni ($p>0,05$): verso sinistra (zona 4) è risultato più ampio lo spostamento col passo incrociato rispetto all'accostato; mentre verso destra (zona 2) le due tecniche non hanno mostrato differenze significative ($p=0,09$). Per quel che riguarda la funzione di piede puntello, gli arti chiudono lo spostamento in modo diverso: sono risultate significative le differenze di lunghezza del passo di chiusura con valori maggiori nel cross rispetto allo slide ($p<0,05$).

Tabella 6-11 Lunghezza totale percorsa lungo la rete nel muro con spostamento.

Lunghezza Totale Muro con spostamento (cm)	SS	SD	CS	CD
media	105	98	196	183
dev. St.	20	20	41	35
mediana	102	98	204	180
max	135	133	247	229
min	81	63	122	128
C.V.	19	21	21	19

La lunghezza totale dello spostamento per il muro risulta diversa a seconda della tecnica utilizzata: col cross gli atleti percorrono più spazio che con lo slide. Le differenze tra direzioni, non sono risultate significative anche se verso sinistra i valori medi risultano maggiori (media=+ 8cm per lo slide +13cm per il cross; mediana=+26cm e +31cm rispettivamente).

Non sono state evidenziate differenze attribuibili al ruolo (Mann-Whitney).

Discussione

L'analisi di queste variabili ha evidenziato che spazi maggiori sono coperti col passo incrociato mentre l'accostato è meno ampio. Questi risultati concordano con quelli di Buekers (1991) il quale aveva concluso che il passo accostato è da preferirsi per i piccoli spostamenti e l'incrociato per quelli più lunghi. La differenza tra i risultati attuali e quelli degli studi precedenti, raggiunti esclusivamente attraverso analisi temporali di spostamento e salto su distanze fisse, è che in questo studio è stata misurata la distanza effettivamente percorsa lateralmente in modo "naturale" in una "corretta" esecuzione di muro. L'espressione "naturale" identifica la simulazione del muro d'ala che è stata utilizzata e che ha riprodotto la reale situazione che i giocatori devono affrontare nel gioco; per "corretta" si intende un'esecuzione dello spostamento e salto che ha rispettato i principi della tecnica del muro (vedi Par. 1.2.1) normalmente utilizzati dagli allenatori nell'insegnamento di questo fondamentale.

6.1.3 Velocità

6.1.3.1 Velocità massima verticale

Grafico 6-6 Valori massimi della velocità verticale (riferita al COMr) nelle 5 tipologie di muro analizzate.

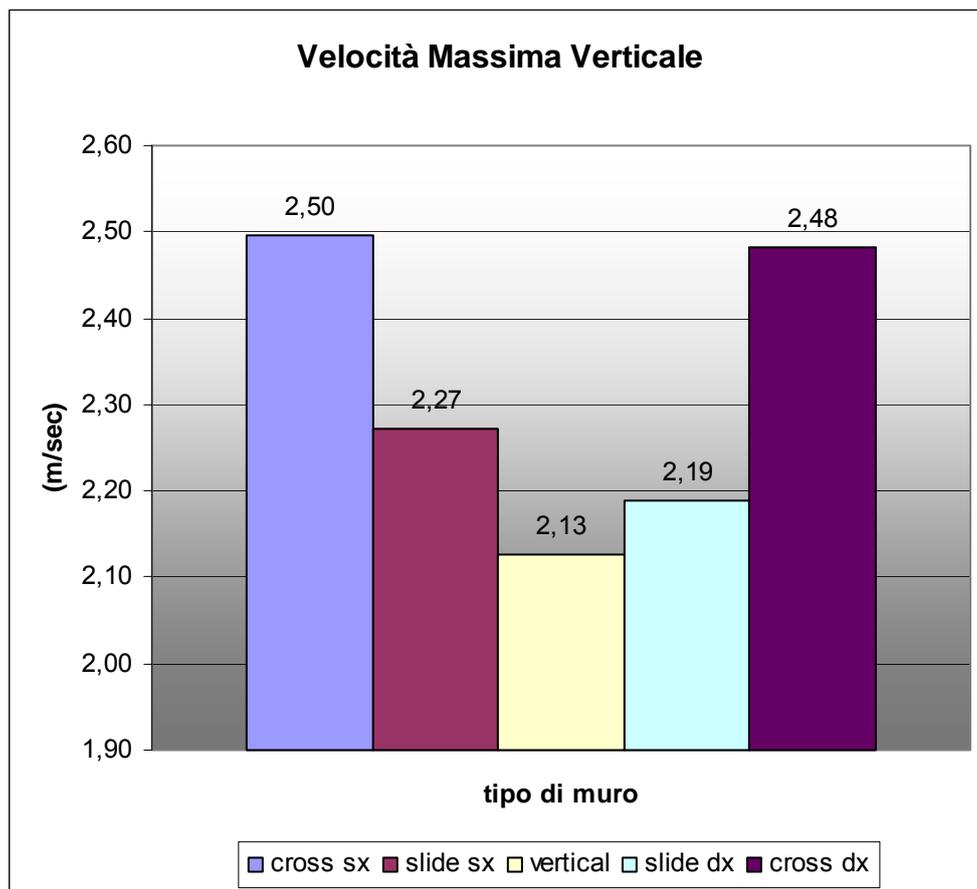


Tabella 6-12 Massima Velocità Verticale espressa nel salto a muro.

Massima Velocità Verticale	Vertical	Slide SX (m/sec)	Slide DX (m/sec)	Cross SX (m/sec)	Cross DX (m/sec)
Media	2,13	2,27	2,19	2,50	2,48
Dev. St.	0,25	0,33	0,26	0,22	0,23
Mediana	2,08	2,28	2,22	2,52	2,49
Min	1,82	1,44	1,74	2,11	2,12
Max	2,54	2,72	2,55	2,80	2,79
C.V	12	15	12	9	9

Come evidenziato dal grafico e in tabella la massima velocità verticale è minore nel caso del muro sul posto ($\chi^2(4) = 18,9$ $n=10$ $p=0,001$) e tale differenza risulta significativa al successivo Test di Wilcoxon solo nel confronto tra le prestazioni di muro con passo incrociato ($p=0,005$ in entrambi i casi di muro in zona 2 e zona 4).

Tabella 6-13 Test di Wilcoxon: Massima Velocità Verticale

Test di Wilcoxon Massima Velocità Verticale (è evidenziato quando il piede perno è il destro)								
Max. Vel. Vert.	SS - V	SD - V	CS - V	CD - V	SD - SS	CD - CS	CS - SS	CD - SD
Z	-1,682	-0,764	-2,803	-2,803	-0,764	-0,255	-1,478	-2,701
Sig. Asint. a 2 code	,093	0,445	0,005	0,005	0,445	0,799	0,139	0,007

Non sono state evidenziate differenze significative tra le direzioni ($p=0,44$ per lo slide e $p=0,79$ per il cross) mentre è risultato che quando si spostano verso sinistra (zona 4) col passo incrociato gli atleti raggiungono saltando picchi di velocità verticale significativamente maggiori rispetto allo spostamento a passo accostato ($p=0,007$).

Tenendo conto della funzione di piede perno l'analisi col Test di Wilcoxon ha mostrato differenze significative per l'arto destro (dominante) ma non per il sinistro.

Discussione

I commenti a questi risultati, data l'alta correlazione tra queste variabili e l'elevazione (Bosco et al., 1983) sono perfettamente in linea con quanto discusso precedentemente a proposito dell'elevazione e del tempo di volo.

6.1.3.2 Velocità massima orizzontale

Tabella 6-15 Valori massimi della velocità orizzontale (riferita al COMr) nel muro con spostamento

Massima Velocità Orizzontale	Slide SX (m/sec)	Slide DX (m/sec)	Cross SX (m/sec)	Cross DX (m/sec)
media	2,01	1,89	2,66	2,65
dev. St.	0,29	0,34	0,51	0,38
mediana	2,00	1,84	2,82	2,80
min	0,00	0,00	0,00	0,00
max	2,49	2,38	3,21	3,10
C.V	14,6	17,8	19,4	14,2

Il Test di Friedman mostra differenze significative tra le esecuzioni di muro con spostamento per quel che riguarda la massima velocità orizzontale ($\chi^2(3) = 14,28$ $n=10$ $p=0,003$).

In particolare si distinguono nettamente i due tipi di passo con valori assoluti maggiori per il Cross (intorno ai 2,65 m/sec) rispetto allo Slide (valori di circa 2,00 m/sec). Tali

evidenti differenze sono confermate e sostenute dai risultati del Test di Wilcoxon: $p=0,022$ verso SX e $p=0,009$ verso DX nel confronto tra le tecniche, mentre non sono state evidenziate differenze tra direzioni a parità di tecnica ($p>0,05$).

Facendo riferimento alla funzione di piede perno, entrambi gli arti hanno evidenziato differenze significative ($p<0,05$) con maggiori velocità orizzontali nel cross verso sinistra rispetto allo slide a destra (piede destro) e viceversa nel cross verso destra rispetto allo slide verso sinistra (piede sinistro).

Discussione

Anche questi risultati confermano che la tecnica di spostamento è fattore determinante mentre non si sono evidenziate differenze tra le direzioni.

Tabella 6-16 Confronto tra velocità massime orizzontali (dati 2006 e 2005)

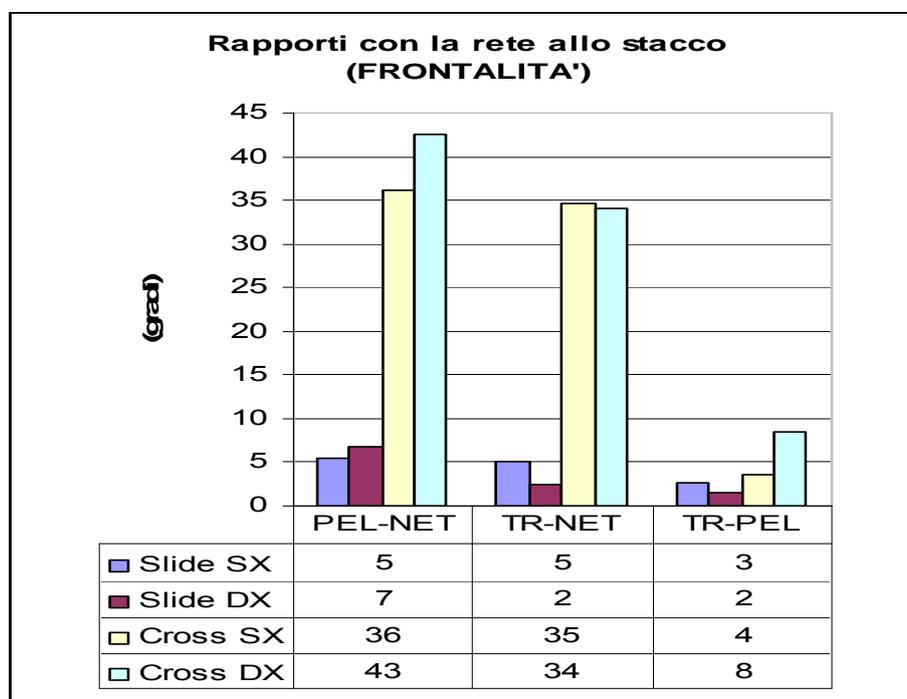
Dati 2006		Velocità massima orizzontale (m/sec)	Dati 2005	
SLIDE	CROSS		SLIDE	CROSS
1,95	2,65	media	2,42	3,24
0,31	0,44	dev. St.	0,24	0,26
1,93	2,80	mediana	1,99	2,71
1,36	1,69	min	1,99	2,71
2,49	3,21	max	2,88	3,88
16,1	16,5	C.V	9,8	8,0

Il confronto con i dati presentati allo IASK 2005 ci indica una maggiore variabilità dei nuovi dati con picchi di velocità inferiori, come prevedibile, per le diverse condizioni sperimentali. Infatti mentre le acquisizioni 2006 sono simulazioni di situazioni di gioco della tattica Read nel 2005 si era simulata un'esecuzione senza segnale di start e quindi più simile a quanto avviene nel gioco quando si applica la tattica Commit (il giocatore parte direttamente per spostarsi verso l'esterno a murare il proprio avversario).

6.1.4 Rapporti con la rete

Sono stati calcolati gli angoli fra il sistema di riferimento della rete e il sistema di riferimento del tronco e della pelvi. Per l'analisi della frontalità è stata presa in considerazione la rotazione attorno all'asse verticale. I valori negativi si riferiscono a rotazione verso destra e quelli positivi verso sinistra.

Grafico 6-7 Orientamento relativo tra tronco, pelvi e rete (angolo di rotazione sull'asse verticale della rete).



Nel grafico sono riportati in valore assoluto i gradi relativi all'orientamento di tronco e bacino rispetto alla rete sull'asse longitudinale. Si nota la simmetria dei movimenti di muro che risultano non differire in questo parametro a parità di tecnica utilizzata.

Tabella 6-17 Orientamento di tronco e bacino rispetto alla rete allo stacco.

allo stacco	PELVI-RETE (gradi)				TRONCO-RETE (gradi)			
	SS	SD	CS	CD	SS	SD	CS	CD
media	5	-7	36	-43	5	-2	35	-34
dev. St.	8	9	14	22	4	4	15	19
mediana	5	-4	34	-43	5	-2	36	-28
min	-11	-24	14	-85	-1	-11	7	-66
max	17	5	65	-1	11	4	65	-4
C.V	139	-140	38	-53	75	-187	43	-55

Tabella 6-18 Valori dell'angolo di rotazione relativo tra tronco e bacino allo stacco

allo stacco	TRONCO-PELVI (gradi)			
	SS	SD	CS	CD
media	-3	-2	4	8
dev. St.	6	4	6	9
mediana	-1	-1	5	8
min	-12	-8	-7	-5
max	5	5	13	27
C.V	-219	-283	164	112

Pur risultando molto elevata la variabilità di questo parametro (C.V. elevatissimi) si nota come i valori siano piuttosto simili nelle esecuzioni dello slide, mentre nel cross, come atteso, sono risultate differenze maggiori (anche se non significative).

Nel confronto tra tecniche quando l'atleta si muove nella stessa direzione sono risultate differenze significative.

Discussione

Anche i risultati relativi alla frontalità confermano che la tecnica di spostamento è il fattore determinante: nel caso del passo incrociato sono stati misurati valori inferiori ai 45° tra il piano della rete e l'asse del tronco e della pelvi.

Questo dato, come già espresso nelle conclusioni dello studio preliminare del 2005 (ma in quel caso erano stati acquisiti dati solo degli arti inferiori e del bacino), permette di affermare che i vantaggi in termini di velocità di spostamento, di lunghezza dei passi e di elevazione del passo incrociato rispetto all'accostato, non comportano una perdita di frontalità al momento dello stacco che possa essere considerata un fattore limitante la prestazione.

La novità di questo studio nel quale sono stati raccolti anche dati relativi all'orientamento del tronco rispetto alla rete e i valori intorno allo zero dell'angolo relativo tronco-pelvi confermano la supposizione (Lobietti et al., 2005) che l'osservazione dell'orientamento del bacino sia un buon indicatore per l'insegnamento e l'allenamento di questo fondamentale.

6.1.5 Angoli articolari

Grafico 6-8 Angoli articolari al momento di massimo caricamento (riferito al COMr).

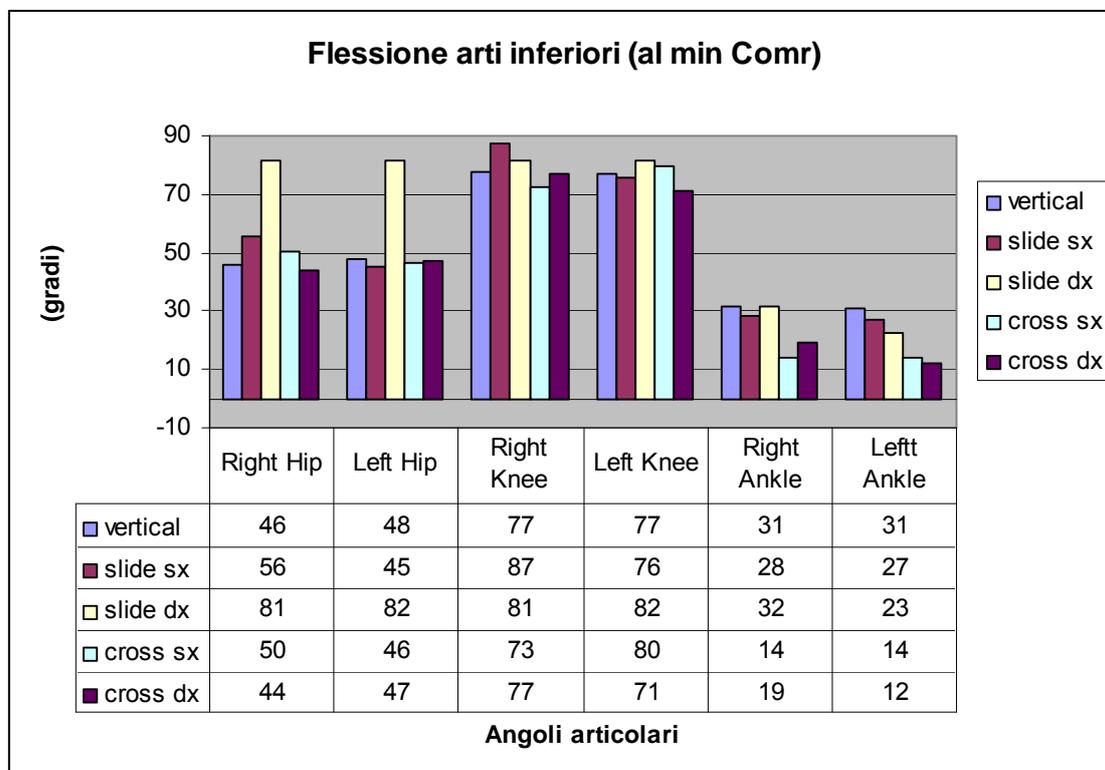


Tabelle 6-19 Angoli articolari delle anche al momento di massimo caricamento (riferito al COMr) in base al tipo di muro effettuato.

	Rhip V	Rhip SS	Rhip SD	Rhip CS	Rhip CD	Lhip V	Lhip SS	Lhip SD	Lhip CS	Lhip CD
media	56	46	81	50	44	48	45	82	46	47
dev. St.	10	19	9	16	19	15	13	10	13	11
mediana	54	40	82	53	48	46	44	82	45	48
min	40	26	67	28	19	24	29	66	26	31
max	73	85	96	72	74	70	64	94	63	64
C.V	18	41	11	33	42	32	29	12	27	24

Le anche (Right Hip e Left Hip) mostrano angoli di flessione diversi. Il Test di Friedman di confronto tra i risultati misurati al momento del raggiungimento del massimo caricamento (riferito all'altezza del COMr) mostra differenze significative per entrambe le anche ($\chi^2(4) = 21,78$; $n=10$ $p=0,000$ per l'anca DX e $\chi^2(4) = 21,78$; $n=10$ $p=0,000$ per l'anca SX) in base al tipo di tecnica utilizzata.

Grafico 6-9 Angoli articolari a seconda della funzione svolta (piede perno o puntello) al momento di massimo caricamento (riferito al COMr).

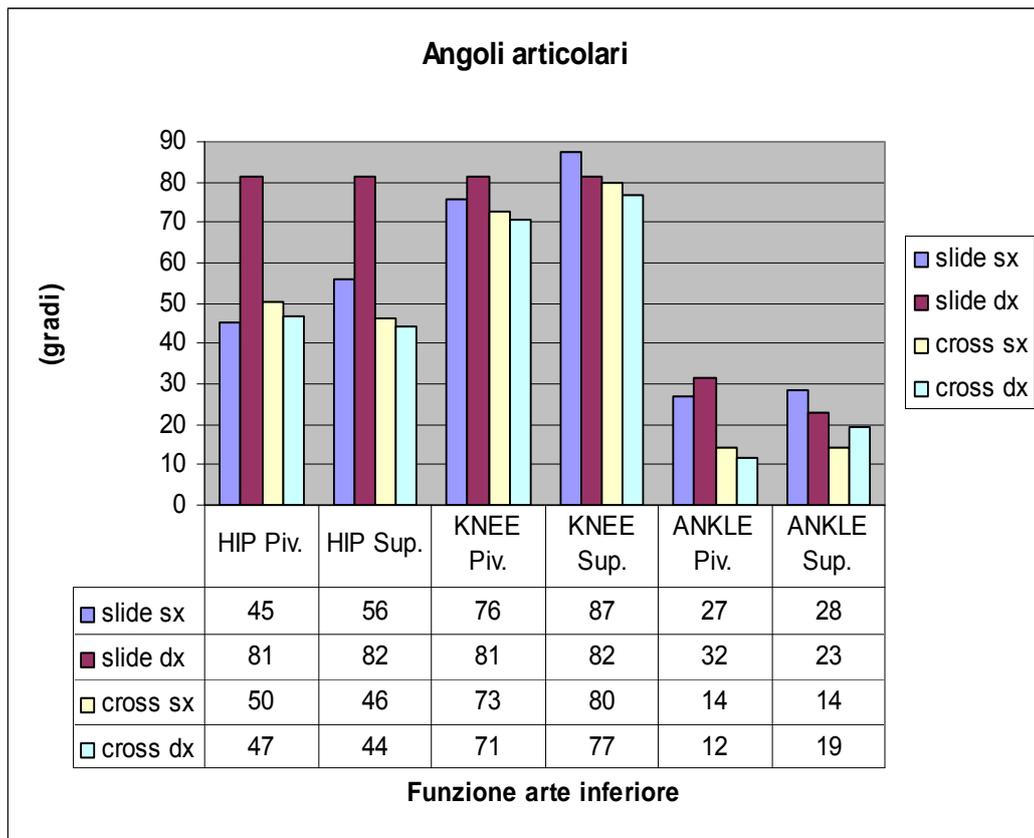


Tabelle 6-20 Test di Wilcoxon per gli angoli articolari delle anche al momento di massimo caricamento (riferito al COMr) in base al tipo di muro effettuato.

Test di Wilcoxon								
Angoli articolari delle anche al massimo caricamento								
(è evidenziata la funzione di piede perno)								
Anca Destra	SS - V	SD - V	CS - V	CD - V	SD - SS	CD - CS	CS - SS	CD - SD
Z	-1,599	-2,803	-0,178	-0,533	-2,666	-1,599	-1,718	-2,547
Sig. Asint. a 2 code	0,110	0,005	0,859	0,594	0,008	0,110	0,086	0,011
Anca Sinistra	SS - V	SD - V	CS - V	CD - V	SD - SS	CD - CS	CS - SS	CD - SD
Z	-1,478	-2,803	-0,764	-0,866	-2,803	-0,255	-0,051	-2,803
Sig. Asint. a 2 code	0,139	0,005	0,445	0,386	0,005	0,799	0,959	0,005

Il Test di Wilcoxon mostra differenze significative tra tipologie di passo anche tenendo conto della funzione di piede perno o puntello. Inoltre nello slide verso destra entrambe le anche vengono flesse molto maggiormente che in tutti gli altri tipi di movimento.

La flessione del ginocchio (piegamento secondo la terminologia della scienza del movimento umano) non ha mostrato valori diversi a seconda del tipo di tecnica di muro. Il Test di Friedman è risultato non significativo per entrambi gli arti ($\chi^2 (4) = 8,24$; $n=10$ $p=0,08$ per il ginocchio DX e $\chi^2 (4) = 4,8$; $n=10$ $p=0,31$ per il SX).

Le caviglie raggiungono angoli di flessione (piegamento) diversi ($\chi^2 (4) = 26,32$; $p=0,000$ per la DX e $\chi^2 (4) = 22,51$; $n=10$ $p=0,000$ per la SX).

In particolare il confronto tra il salto verticale e il salto dopo passo incrociato ha evidenziato delle differenze significative ($p<0,01$) per entrambi gli arti (indipendentemente dalla funzione di piede perno e piede puntello).

Il confronto tra direzioni non ha mostrato differenze significative mentre ne sono state riscontrate tra tipologie di passo effettuate nella stessa direzione (in quanto cambia la funzione svolta dai due arti).

Discussione

Il Test di Wilcoxon ha mostrato che nello slide a destra entrambe le anche vengono flesse molto maggiormente che in tutti gli altri tipi di movimento. Si può spiegare questo con la capacità di utilizzo di una maggiore forza in questo movimento rispetto agli altri tipi di spostamento. Anche il tempo di applicazione della forza risulta maggiore (questa misurazione si basa sui tempi di contatto e non su misurazioni con pedana di forza) come mostra la maggiore durata del tempo di contatto del piede perno, proprio il destro, in questo tipo di movimento.

I valori riscontrati a livello delle ginocchia (simili per tutti i tipi di muro considerati) indicano che per l'allenamento della muscolatura estensoria del ginocchio, sono da considerare valide per tutti i tipi di muro le considerazioni ed indicazioni della letteratura sull'allenamento del salto verticale.

6.2 Confronto tra prestazione di muro ed esercizi speciali

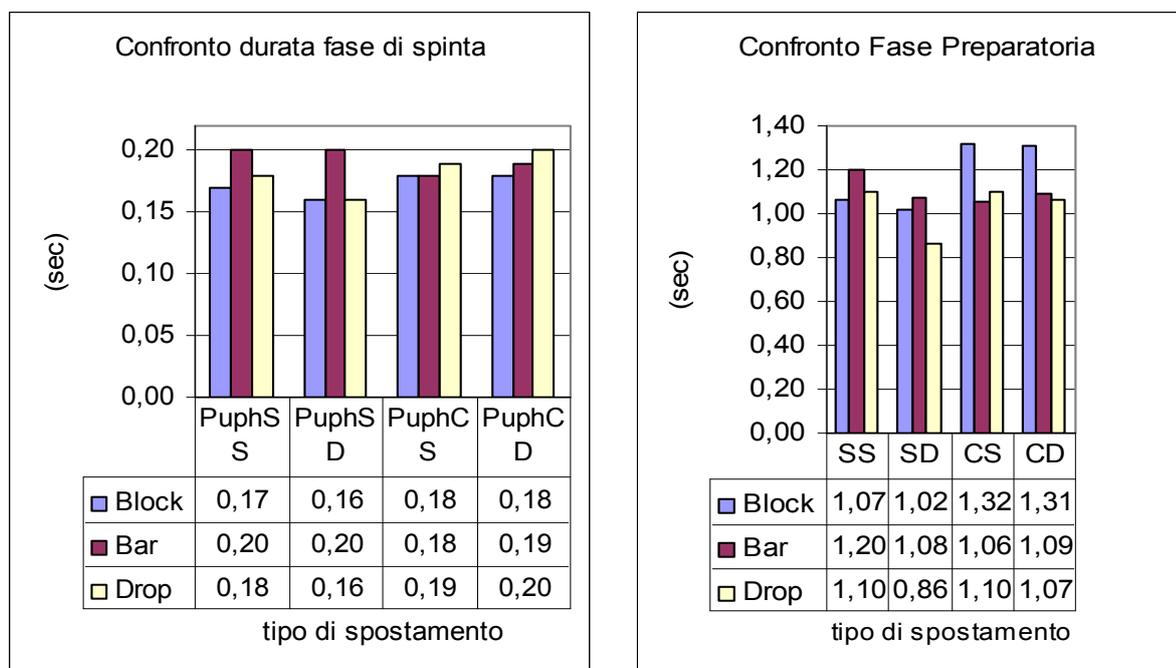
Sono analizzati i dati cinematici relativi alle esecuzioni degli atleti dei tre tipi di movimento (a carico naturale, con sovraccarico e con ricaduta) proposti per ogni tecnica in entrambe le direzioni.

Data la correlazione tra tempo di volo, porzione

6.2.1 Variabili temporali

6.2.1.1 Fase preparatoria e di spinta

Grafici 4-10 Confronto tra esercizi: Fase Preparatoria e Fase di Spinta (riferite al COMr).



FASE PREPARATORIA

Mentre per lo slide non sono emerse differenze significative verso sinistra ($p > 0,05$) ma solo verso destra in quanto nell'esercizio con ricaduta dallo step la fase preparatoria è risultata molto più breve che negli altri due esercizi.

Nel caso del cross gli esercizi sono risultati molto simili tra loro.

FASE DI SPINTA

Anche per questa variabile i risultati hanno mostrato differenze significative verso sinistra ($p < 0,05$) ma solo verso destra in quanto nell'esercizio con sovraccarico la fase di

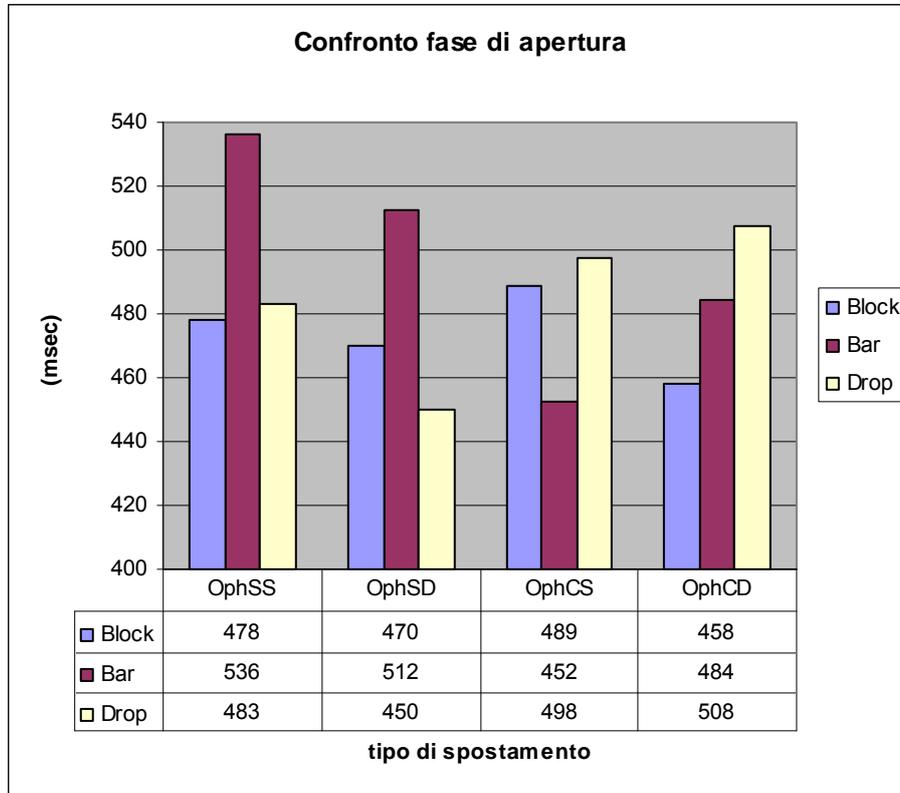
spinta è risultata più lunga ($p < 0,05$) che nelle altre due modalità. Nel caso del cross gli esercizi sono risultati molto simili tra loro.

Discussione

Questi dati confermano la similitudine tra i tre esercizi che perciò possono essere qualificati come “speciali” per queste variabili. Le differenze riscontrate tra gli esercizi nell'eseguire il passo accostato verso destra (minore durata della fase preparatoria con lo step e maggiore durata della fase di spinta col bilanciere) fanno supporre anche per questa variabile che la causa sia da ricercare nell'azione di piede perno dell'arto dominante. Questo fa supporre che valori simili o comunque correlabili dovrebbero essere misurati anche nell'esecuzione del gesto d'attacco. Purtroppo però al momento ma non sono stati raccolti dati relativi alla schiacciata di questi giocatori.

6.2.1.2 Durata ultimo passo

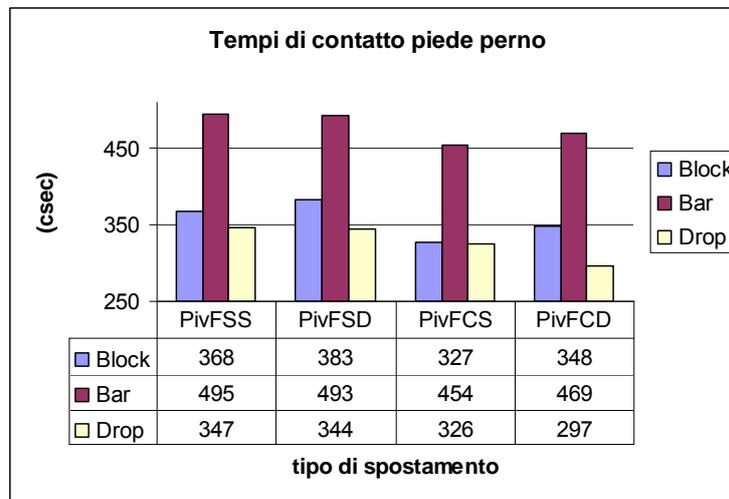
Grafico 4-11 Confronto tra esercizi: Fase di Apertura o durata ultimo passo.



I risultati relativi alle durate del passo di apertura nei tre tipi di esercizi non sono risultati differire in modo significativo ($p > 0,05$) tra tipologie di esercizio per nessuna delle tecniche utilizzate.

6.2.1.3 Durata tempi di contatto

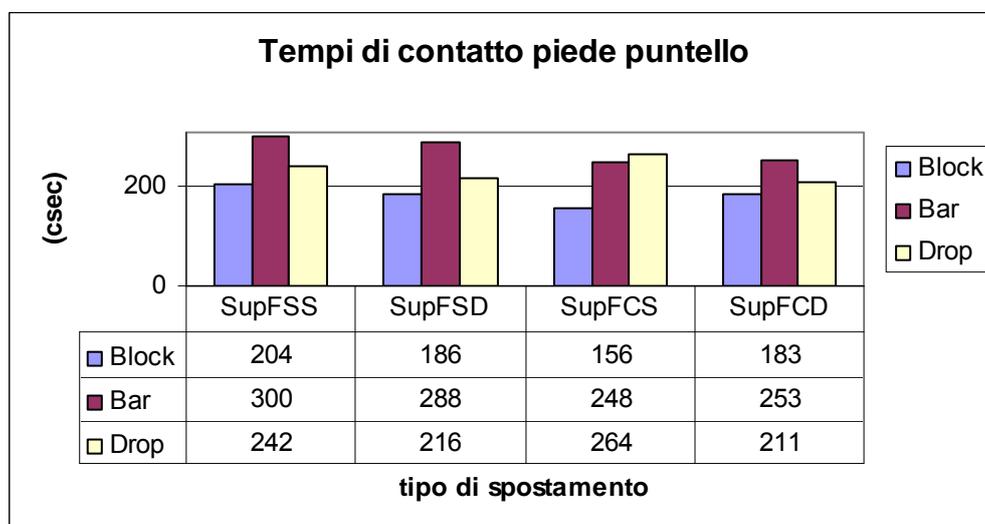
Grafici 4-12 Confronto tra esercizi: Tempi di contatto piede perno.



Nelle esecuzioni con passo accostato, il tempo di contatto del piede perno è variato in modo significativo nello Slide per il piede Sx (Friedman Test $p=0,007$) ma non per il piede Dx (Friedman Test $p=0,196$). Nel cross invece il tempo di contatto del piede perno ha mostrato variazioni significative ($p<0,05$) in entrambe le direzioni.

In particolare è risultata aumentata la durata del tempo di contatto nell'esercizio con sovraccarico (Wilcoxon: $p < 0,05$ per lo Slide a SX, per il Cross a SX e anche per il Cross a DX nel confronto col SSB ma non tra SS e SDDR).

Grafici 4-13 Confronto tra esercizi: Tempi di contatto piede puntello.



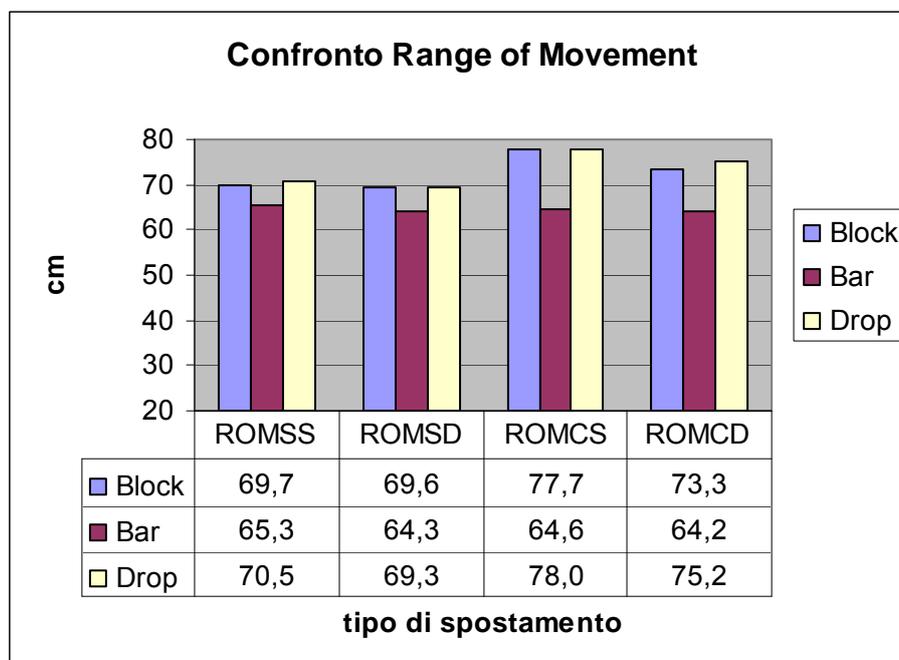
Il tempo di contatto del piede puntello non ha mostrato variazioni significative nello slide verso sinistra (Friedman Test $p=0,06$) ma solo verso destra (Friedman Test $p=0,019$). Nel cross mentre verso sinistra il tempo di contatto del piede sinistro è variato in modo significativo (Friedman Test $p=0,02$) mentre lo stesso comportamento non è stato riscontrato per il piede destro (Friedman Test $p=0,07$). Anche per il piede puntello le variazioni della durata del tempo di contatto sono state riscontrate solo nell'esecuzione dell'esercizio con sovraccarico.

Discussione

Possiamo supporre che l'elevato numero di ripetizioni di rincorsa d'attacco nel quale il piede destro funge da perno abbia creato degli automatismi molto stabili: l'esercizio con un sovraccarico così leggero e la ricaduta seguita dallo spostamento non hanno variato questo parametro. Non altrettanto avviene con l'arto non dominante.

6.2.2 Variabili spaziali

Grafici 4-14 Confronto tra esercizi: Range of Motion del COMr.

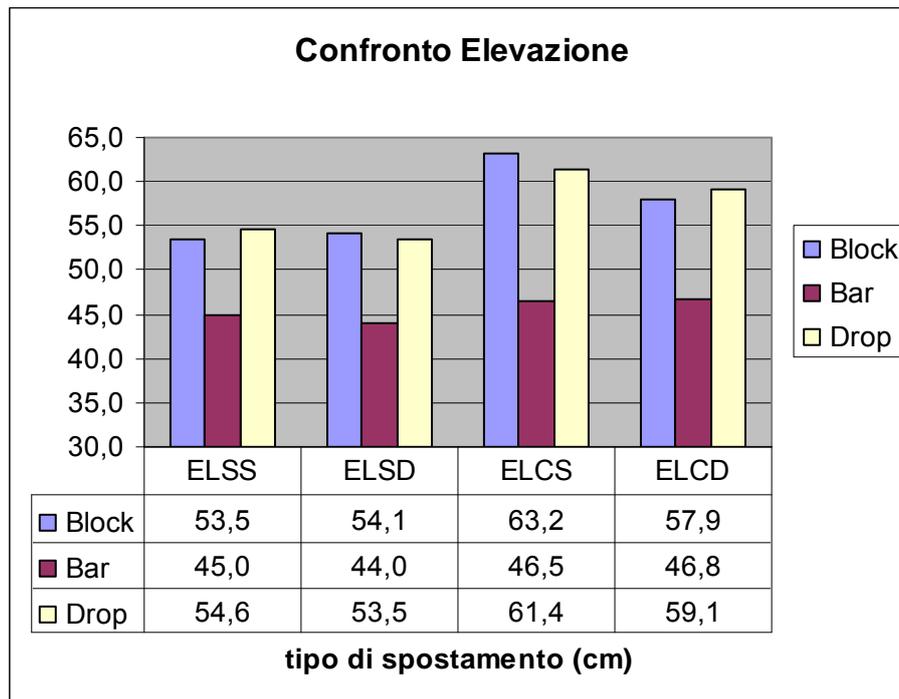


I risultati dei test non parametrici hanno mostrato che l'esercizio con sovraccarico si differenzia in modo significativo dagli altri due che sono risultati più simili per tutti i tipi di spostamento.

Discussione

Tali risultati si spiegano con la minore elevazione che si riesce ad esprimere nell'esercizio col bilanciere per effetto della forza peso. In sostanza la fase di caricamento non cambia. Questo risultato sarà anche confermato dai risultati che seguono relativamente agli angoli articolari delle ginocchia e (come già precedentemente evidenziato) per quel che riguarda la durata della fase preparatoria.

Grafici 4-15 Confronto tra esercizi: elevazione.



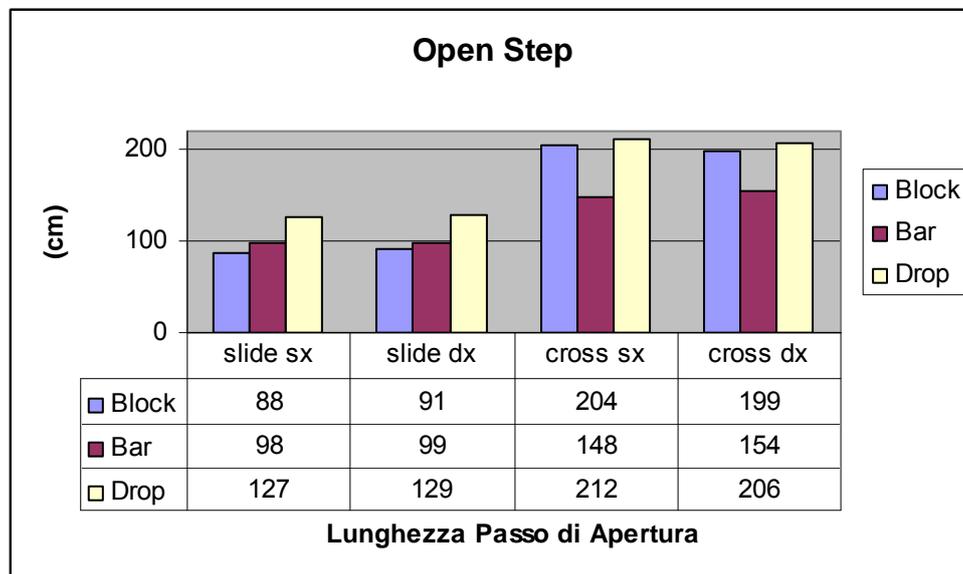
Confrontando l'elevazione espressa in tutti i tipi salti a muro sono le esecuzioni dell'esercizio con sovraccarico quelle in cui l'altezza raggiunta col salto è risultata inferiore. Questi valori sono risultati differire in modo significativo sia rispetto all'esecuzione del muro che nel caso dell'esercizio con ricaduta che sono risultati invece più simili tra loro. Si nota anche che l'elevazione raggiunta in tutti i tipi di esercizio di spostamento e salto col bilanciere non varia.

Discussione

I valori molto simili di elevazione nell'esercizio col bilanciere indipendentemente dal tipo di spostamento che ha preceduto il salto permettono di affermare che le esercitazioni per l'allenamento del salto verticale con i pesi (anche ridotti) anche se effettuate senza spostamento sono da considerarsi sufficientemente "speciali" per l'allenamento del muro. Non è necessario per influire sull'elevazione effettuare salti a muro dopo spostamento con sovraccarico, è sufficiente saltare sul posto con un giubbotto d'appesantimento o col bilanciere stesso.

6.2.2.1 Lunghezza dei passi

Grafici 4-16 Confronto tra esercizi: lunghezza del passo di apertura.

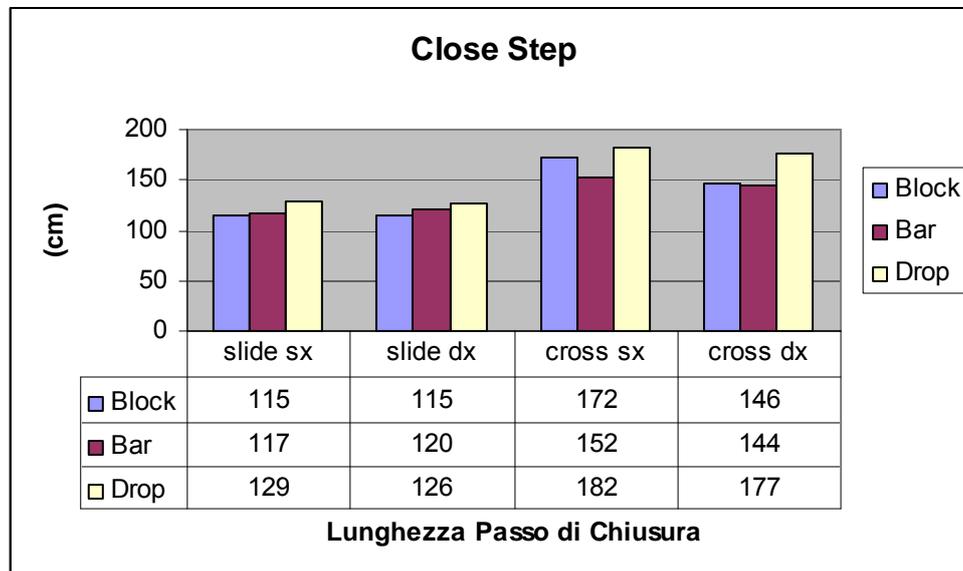


La lunghezza del passo di apertura è variata in modo significativo nello Slide (Friedmann; $p=0,02$ a SX e $p=0,16$ a DX). In particolare mentre il sovraccarico non ha influito in modo significativo (Wilcoxon; $p=0,38$ a SX e $p=0,33$ a DX) nell'aumentare lo spostamento è nell'esercizio con ricaduta che è risultata maggiore la distanza percorsa.

Quando i giocatori si muovono a passo incrociato invece è nell'esercizio col bilanciere che gli atleti coprono lunghezze minori (Wilcoxon; $p<0,05$) mentre l'esercizio con ricaduta ha mostrato valori più simili a quelli raccolti nell'esecuzione a carico naturale ($p>0,05$ in entrambe le direzioni).

Il confronto tra i valori ottenuti nel 2005 e i dati attuali non è stato effettuato in quanto è stato diverso il riferimento anatomico utilizzato per il calcolo delle distanze: la proiezione del centro di caviglia col protocollo CAST e il markers al calcagno col FIG.

Grafici 4-17 Confronto tra esercizi: lunghezza passo di chiusura.



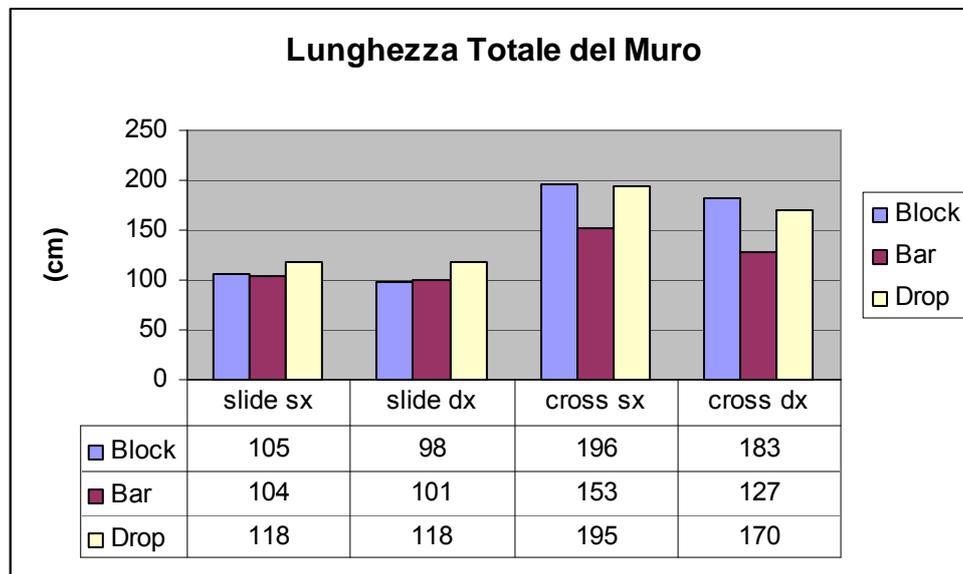
Nello slide non è variata la lunghezza del passo di chiusura (Friedmann; $p=0,15$ a SX e $p=0,17$ a DX). Nel cross invece si sono avute differenze tra gli esercizi per quel che riguarda questa distanza ($\chi^2(2) = 6,25$; $n=8$ $p=0,04$ verso SX e $\chi^2(2) = 9,25$; $n=8$ $p=0,01$ verso DX).

Il successivo Test di Wilcoxon non ha però mostrato differenze nelle esecuzioni verso sinistra tra i tre esercizi mentre verso destra la ricaduta permette di raggiungere distanze più ampie che differenziano maggiormente questo esercizio dagli altri ($p < 0,05$).

Discussione

Si deve sottolineare che la performance a muro nel passo incrociato verso destra (come evidenziato dal grafico) è risultata minore rispetto a quella verso sinistra (anche se non in modo significativo), mentre non si nota comportamento analogo nelle esecuzioni degli esercizi. Si può supporre che tale minore distanza percorsa nel passo di chiusura sia una conseguenza dei tempi di reazione più lenti registrati proprio verso destra da questi atleti (vedi Graf. 4-2). Per recuperare il “ritardo”, terminare lo spostamento e saltare a muro gli atleti accorciano il passo di chiusura e saltano staccando coi piedi più distanziati.

Grafici 4-18 Confronto tra esercizi: lunghezza totale del muro.



Nel confronto tra esercizi ed esecuzioni di muro la lunghezza totale percorsa lungo la rete non è variata in modo significativo per il Cross (Friedmann; $p=0,12$ a DX e $p=0,05$ a SX) in entrambe le direzioni né quando gli atleti utilizzano lo Slide verso sinistra ($p=0,06$).

Invece nel passo accostato verso destra col bilanciere o reagendo alla simulazione dell'alzata questi atleti hanno percorso distanze analoghe (Wilcoxon; $p=0,65$) mentre nell'esercizio con ricaduta hanno percorso più spazio (Wilcoxon; $p=0,005$ nel confronto con l'esercizio con sovraccarico).

Discussione

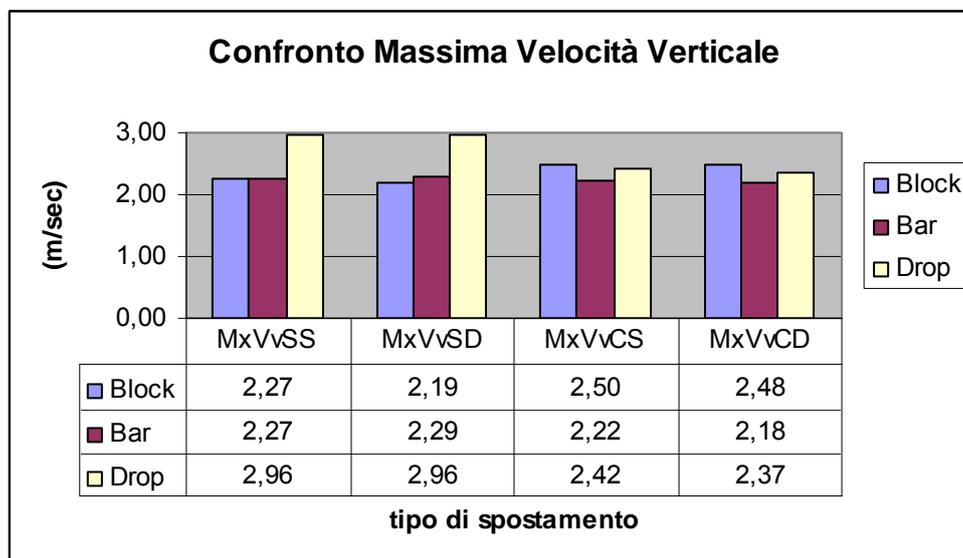
Si deve sottolineare come questa variabile essendo altamente correlata con le lunghezze dei singoli passi esprime in sostanza le stesse caratteristiche delle due precedenti in relazione alle esecuzioni degli esercizi.

La maggiore distanza percorsa nell'esercizio con ricaduta nel passo accostato verso destra fa supporre anche per questa variabile che la causa sia da ricercare nell'automatismo coordinativo della rincorsa della schiacciata caratterizzata da un ultimo passo destro-sinistro lungo ed esplosivo.

6.2.3 Velocità

6.2.3.1 Massima velocità verticale

Grafici 4-19 Confronto tra esercizi: velocità massima verticale.



Il Test di Friedman non ha mostrato differenze significative tra gli esercizi nel caso dello Slide ($\chi^2 (4) = 0,67$; $n=9$ $p=0,71$ verso SX e $\chi^2 (4) = 0,89$; $n=9$ $p=0,64$ verso DX) mentre nel caso del Cross ($\chi^2 (4) = 8,00$; $n=9$ $p=0,02$ per entrambe le direzioni) si è proceduto nell'analisi attraverso il Test di Wilcoxon.

Tabella 4-21 Test di Wilcoxon massima velocità verticale nel passo incrociato

Test di Wilcoxon						
Massima Velocità Verticale espressa nel salto con passo incrociato						
Max. Vel. Vert	CSB - CS	CSDR - CS	CSDR - CSB	CDB - CD	CDDR - CD	CDDR - CDB
Z	-2,310	-0,889	-,125	-2,666)	-1,481	-1,125
Sig. Asint. a 2 code	,021	0,374	,260	,008	,139	,260

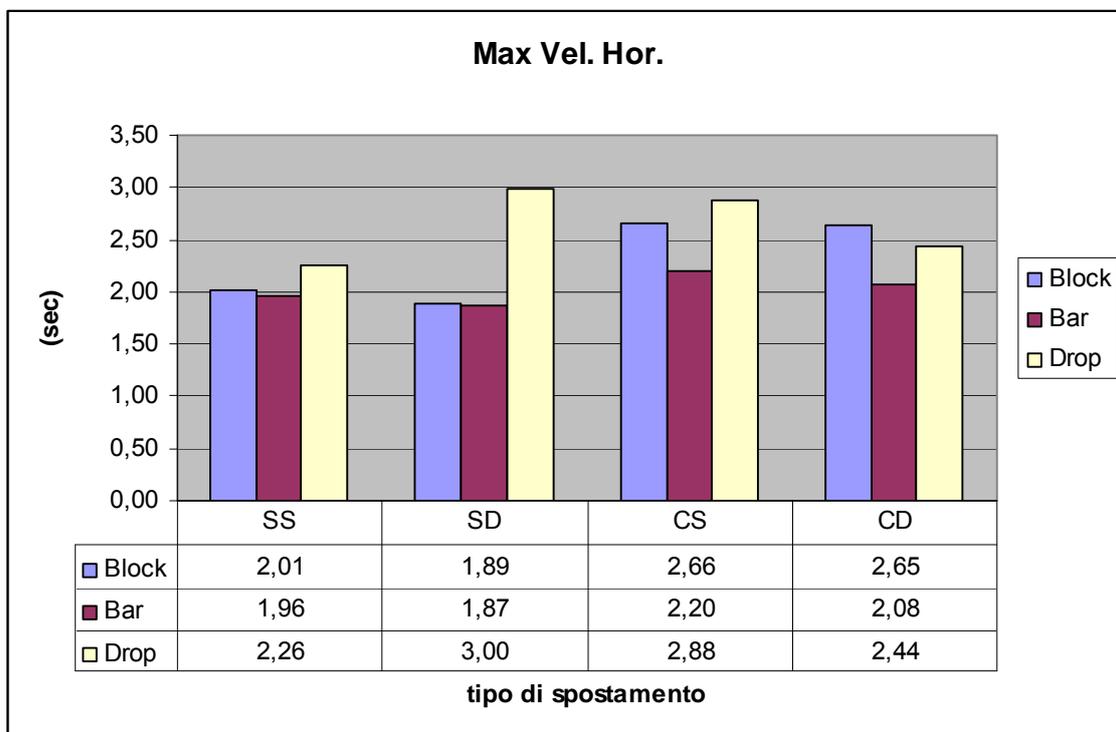
Nel passo incrociato, in entrambi gli esercizi gli atleti hanno raggiunto velocità inferiori rispetto al muro a carico naturale, ma differenze significative sono state mostrate solo tra l'esercizio col bilanciere e il muro.

Discussione

Tale risultato suggerisce che le difficoltà coordinative incontrate dai giocatori posti davanti a nuovi esercizi hanno inciso sulla massima velocità verticale in modo simile nelle due tipologie di esercizi analizzate influenzando negativamente su tale parametro.

6.2.3.2 Massima velocità orizzontale

Grafici 4-20 Confronto tra esercizi: massima velocità orizzontale.



Il Test di Friedman ha mostrato differenze significative tra gli esercizi in tutti i tipi di spostamento.

Il Test di Wilcoxon nel caso dello Slide ($p < 0,05$) ha evidenziato differenze significative tra il muro dopo caduta dallo step e gli altri esercizi in entrambe le direzioni con i maggiori valori raggiunti nello spostamento verso destra quando l'arto dominante (destro) agisce come perno.

Nel caso del Cross verso DX ($p > 0,05$) il test di Wilcoxon non ha mostrato differenze significative tra le tre tipologie. Invece nel Cross verso sinistra, quando l'arto dominante agisce come piede perno differenze significative sono state individuate solo tra l'esercizio con caduta e con sovraccarico.

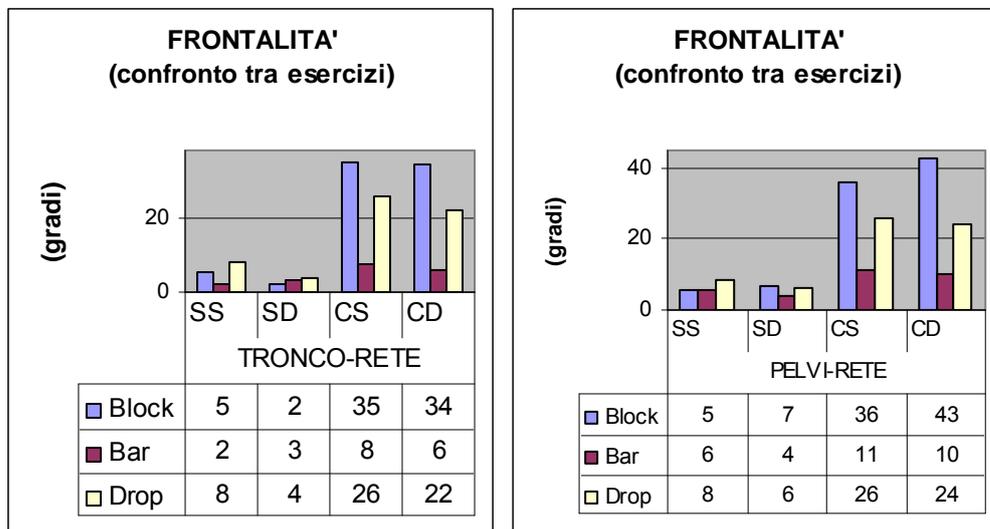
Discussione

L'esercizio con caduta dimostra di incidere in modo particolare su questa variabile mentre col bilanciere i valori massimi di velocità di spostamento laterale sono risultati più simili a quelli del muro nella simulazione della tattica Read.

Si nota in valore assoluto una sostanziale equivalenza tra i due tipi di spostamento nei quali il piede destro funge da piede perno: il drop and slide a DX e il drop and cross verso SX. Questo risultato insieme a quelli relativi ai tempi di contatto del piede perno i in questi due tipi di spostamento suggeriscono di concludere che questo esercizio può essere effettivamente efficace per l'allenamento della velocità di spostamento a muro.

6.2.4 Rapporti con la rete

Grafici 4-20 Confronto tra esercizi: frontalità rispetto alla rete.



Il Test di Friedman non ha mostrato differenze significative tra le tipologie di muro e gli esercizi nel caso dello Slide mentre nel caso del Cross ($p < 0,05$) il successivo Test di Wilcoxon ha mostrato comportamenti diversi per questo parametro tra direzioni. Nel cross verso destra il tronco ha evidenziato angoli di rotazione simili nel muro con ricaduta e nel muro a carico naturale mentre verso sinistra i tre esercizi si differenziano in modo significativo ($p < 0,05$ per tutti i confronti). In entrambe le direzioni l'esercizio con sovraccarico conferma anche per il tronco come per le pelvi il mantenimento di una buona frontalità (in media 10°) rispetto alla rete.

Discussione

Nel passo incrociato eseguito col bilanciere si sono registrati valori analoghi a quelli del passo accostato cosicché questo esercizio risulta particolarmente allenante per la mobilità del tronco nella rotazione del bacino.

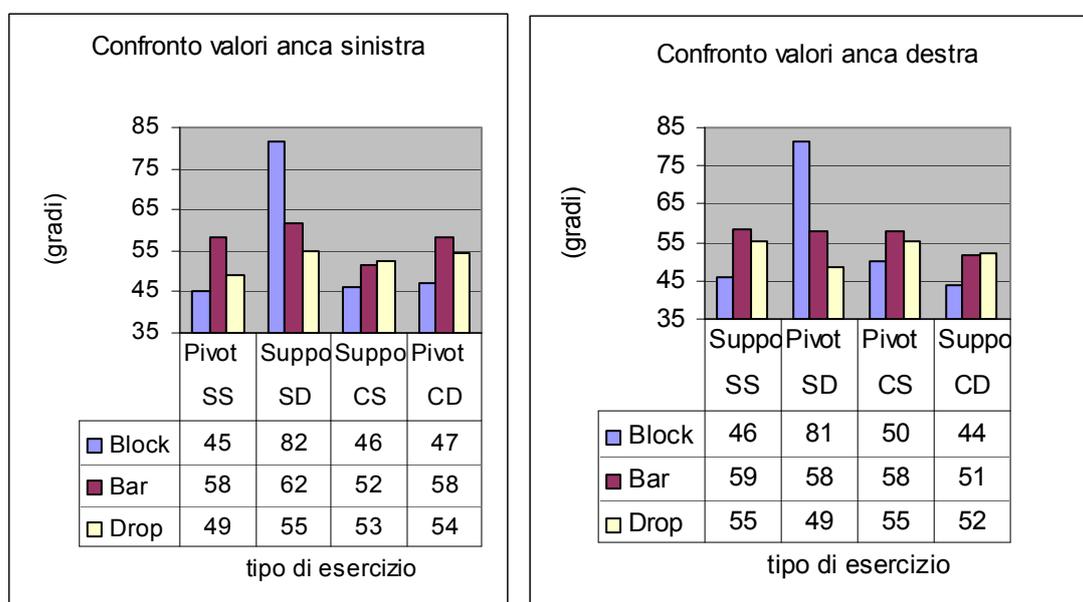
Questi dati indicano perciò l'esercizio con sovraccarico come "speciale" per l'allenamento di questo aspetto tecnico-coordinativo.

6.2.5 Angoli articolari

Vengono confrontati solo gli angoli articolari relativi alla flessione-estensione di anche e ginocchia in quanto analisi di accuratezza dei sistemi stereofotogrammetrici relativi all'azione del piede a livello dell'articolazione tibiotarsica in questo tipo di movimento e questo volume di acquisizione non permettono di poter considerare le differenze numeriche riscontrate attendibili ed affidabili.

6.2.5.1 Anche

Grafico 4-21 Confronto tra esercizi: flessione-estensione dell'anca sinistra e destra.



Nell'utilizzare il passo accostato quando gli atleti si sono spostati verso destra entrambe le anche, la destra con funzione di perno e la sinistra di puntello, hanno variato il valore di flessione raggiunto al momento del massimo caricamento del COMr mostrando differenze significative: nell'esercizio a carico naturale questi atleti hanno piegato maggiormente il tronco ($p < 0,05$ nel test di Wilcoxon nel confronto con entrambi gli esercizi). Nello spostamento verso sinistra invece i valori ottenuti nell'esercizio con sovraccarico hanno mostrato differenze significative solo per l'anca sinistra che ha funzione di perno con un maggior piegamento nell'esercizio col bilanciere, mentre il muro partendo vicino a rete o dallo step sono risultati più simili per questa variabile.

Nel confronto relativo al passo incrociato non sono state mostrate differenze significative per l'anca destra ma solo per la sinistra quando agisce da Pivot nel cross verso destra: i minori valori ottenuti hanno mostrato un minore piegamento nella simulazione di muro rispetto ai due esercizi speciali proposti.

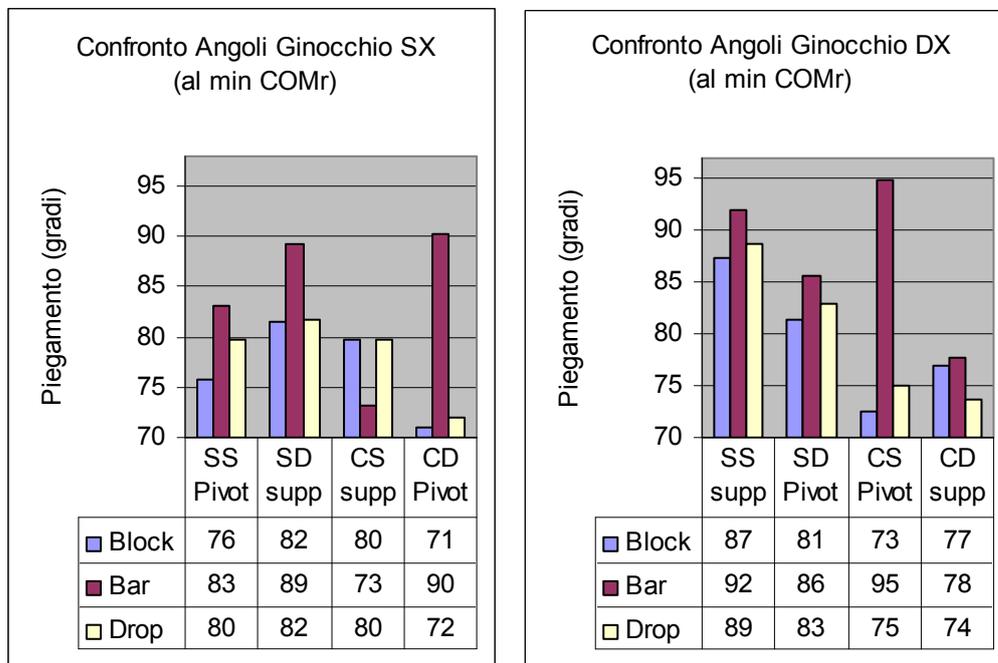
Discussione

Gli esercizi proposti hanno evidenziato un'effetto di maggiore piegamento delle anche tranne che nello slide a destra. Si può ipotizzare un effetto in questo caso dell'automatismo della rincorsa d'attacco. Infatti come nel momento di massimo caricamento il tronco è flesso in avanti, così avviene anche nello spostamento laterale.

6.2.5.2 Ginocchia

L'azione delle ginocchia ha mostrato differenze solo negli spostamenti a passo incrociato: il ginocchio dell'arto perno è stato maggiormente piegato nell'esercizio con sovraccarico .

Grafico 4-22 Confronto tra esercizi: angoli di piegamento delle ginocchia.



Nel passo accostato è risultato agire diversamente il ginocchio sinistro che si è piegato di più nello spostamento verso destra quando agisce come piede puntello nelle esecuzioni dell'esercizio col bilanciare.

Nel passo incrociato è il ginocchio corrispondente al piede perno che raggiunge angoli maggiori di flessione nell'esercizio con sovraccarico, mentre gli esercizi a carico naturale e con ricaduta hanno mostrato valori molto simili.

Discussione

Gli esercizi proposti hanno evidenziato, come atteso, un'effetto di maggiore piegamento delle ginocchia negli esercizi con sovraccarico. Questo risultato conferma che anche con piccoli sovraccarichi il movimento viene modificato nella sua struttura biodinamica e che l'esercizio più "speciale" per questa variabile risulta quello con ricaduta.

7 CONCLUSIONI

Gli obiettivi di questo progetto di Dottorato sono stati molteplici.

In primo luogo si è individuato un protocollo di simulazione del fondamentale del muro in laboratorio attraverso l'utilizzo dei sistemi stereofotogrammetrici per l'analisi cinematica che fossero il più possibile "ecologici" cioè aderenti alla realtà del campo. Tale obiettivo è stato raggiunto attraverso la sperimentazione di diversi marker set e set up telecamere e si è giunti alla scelta del nuovo marker set CAST pallavolo (implementato con la collaborazione dell'Ing. Silvia Fantozzi) per l'acquisizione con Vicon e l'elaborazione successiva con MatLab.

Sono state poi confrontate le tecniche più utilizzate nel gioco (Lobietti and Merni, 2007) in simulazioni di laboratorio dapprima della tattica COMMIT (con gli studi presentati ai Congressi IASK 2005 e ISBS 2006), e successivamente (in questa tesi) della tattica READ. Le acquisizioni di questo studio nella procedura di simulazione utilizzata hanno permesso anche l'analisi cinematica di tempi di reazione motoria nell'esecuzione del muro, aprendo un nuovo (a mia conoscenza) metodo d'indagine per l'analisi di questo aspetto della motricità.

In secondo luogo, ma come obiettivo principale, ci si è prefissi di determinare differenze e similitudini tra alcuni esercizi speciali e le principali tipologie di spostamento individuate per qualificare gli esercizi per lo sviluppo di un particolare aspetto condizionale e coordinativo. Questo obiettivo è risultato particolarmente importante per le indicazioni che può fornire agli allenatori che possono meglio finalizzare la scelta degli esercizi riducendo i tempi di apprendimento e miglioramento delle capacità tecniche, coordinative e condizionali.

La letteratura specifica relativa agli spostamenti a muro aveva analizzato fino ad oggi esclusivamente le variabili temporali o velocità medie effettuando acquisizioni sulla distanza percorsa tipicamente dal centrale.

In questo studio tenendo conto del rapporto numerico 1 a 2 tra centrali e giocatori d'ala nella composizione delle squadre sono stati studiati in particolare gli spostamenti con un solo passo effettuati nel gioco verso l'esterno del campo: il passo accostato e l'incrociato. Questa scelta ha privilegiato quindi le tipologie di spostamento più utilizzate dalla maggioranza dei giocatori. Inoltre l'analisi ha riguardato non solo le

variabili temporali, ma anche quelle spaziali e angolari articolari. Inoltre sulla base del modello di prestazione del muro (Vint, 1997) è stato per la prima volta preso in considerazione e misurato il fattore frontalità cioè l'orientamento del corpo dell'atleta (spalle ed anche) rispetto alla rete. Tale analisi ha potuto sostenere con dati quantitativi i vantaggi del passo incrociato rispetto all'accostato indicando così ai giocatori modalità applicative per l'utilizzo dei passi in partita e agli allenatori suggerimenti per lo sviluppo della tecnica.

La procedura di acquisizione scelta ha creato una situazione di "sfida agonistica" nel reagire allo stimolo iniziale dato dall'operatore con lo stick. Questo ha inciso sulla motivazione degli atleti che hanno così espresso migliori prestazioni anche in una situazione di laboratorio, mentre spesso i risultati ottenuti in laboratorio non riescono a riproporre al meglio la situazione di gara.

Per molte variabili sono stati evidenziati nelle due opposte direzioni risultati "speculari" (maggiori similitudini tra il cross a sinistra e lo slide a destra, e.g) che potrebbero sorprendere trattandosi di un fondamentale della pallavolo considerato simmetrico. La spiegazione di tale apparente anomalia è stata attribuita alla struttura motorio – coordinativa della rincorsa d'attacco (il gesto più ripetuto in partita e in allenamento).

Sono d'accordo con Verchoshanskij quando afferma che la Preparazione Fisica Speciale deve "anticipare" la preparazione tecnica. Le capacità di forza rapida tipiche della pallavolo, rappresentano il fattore limitante il miglioramento della tecnica. La scelta di esercizi "speciali" deve essere attentamente studiata dagli allenatori e questo studio ha evidenziato che i due esempi di esercizi proposti, con piccolo sovraccarico e con caduta, sviluppano l'uno maggiormente i fattori condizionali e l'altro di più quelli tecnico-coordinativi. In particolare l'esercizio con partenza dallo step, caduta e spostamento rapido laterale per effettuare un salto a muro sollecita la velocità di spostamento mentre l'esercizio con la sola asta del bilanciere sopra le spalle insiste maggiormente sulla mobilità del tronco e delle anche al fine di mantenere meglio la frontalità.

I risultati e le considerazioni di questa tesi suggeriscono quindi agli allenatori di inserire questi esercizi nell'insegnamento del muro con uno scopo non solo condizionale ma anche didattico.

Reference List

- Aagaard, H., Jorgensen, U., (1996). Injuries in elite volleyball. *Scand.J Med.Sci.Sports* 6, 228-232.
- Baker, D., (1996). Improving vertical jump performance through general, special and specific strength training: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 10, 131-136.
- Beal, D., Crabb, T., (1987). Blocking. In: Bertucci B. (Ed.), *The AVCA volleyball handbook*. Master Press, Michigan, 65-71.
- Beal, D., Elder, B., (1988). *Power Jumping - The Olympic Gold Medal Approach to Jump Training*". Sports Imports Ed.
- Bosco, C., Komi, P. V., (1981). Pre-stretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111- 140.
- Bosco, C., Luhtanen, P., Komi, P. V., (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology* 50, 273-282.
- Buekers, M. J. A., (1991). The Time Structure of the Block in Volleyball: A Comparison of Different Step Techniques. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 62, 232-235.
- Canavan, P. K., Garret, G. E., Armstrong, L. E., (1996). Kinematic and kinetic relationship between an Olympic-Style Lift and the Vertical Jump. *J Strength.Cond.Res.* 10, 127-130.
- Cappello, A., La Palombara, P. F., Leardini, A., (1996). Optimization and smoothing techniques in movement analysis. *Int.J Biomed.Comput.* 41, 137-151.
- Cappozzo, A. (Eds.), *Biomechanics of human movement: Application in rehabilitation, sports, and ergonomics*. Bertec Corp, Worthington, OH, 186-202.
- Cassel, E., (2001). *Spiking injuries out of volleyball: a review of injury countermeasures*. Monash University Accident Research Centre.
- Cerveri, P., Corazza, S., Ferrigno, G., Frezza, R. G., (2003). Misura del movimento e della postura: sistemi a marcatori passivi e metodi stereofotogrammetrici. In: Cappello, A., Cappozzo, A., Di Prampero, P. E. (Eds.), *Gruppo nazionale di bioingegneria della postura e del movimento*. Patron Editore, Bologna, 179-202.
- Coleman, J., Coleman, K., (1994). *Biomechanics: Analyzing Skills and Performance*. In: Carl Mc Gown Editor (Ed.), *Science of Coaching Volleyball*. Human Kinetics Publisher, 47-80.

- Cometti, G., (1997). Metodi moderni di potenziamento muscolare - Aspetti teorici. Calzetti & Mariucci Editori.
- Cometti, G., (1998). Metodi moderni di potenziamento muscolare - Aspetti pratici. Calzetti & Mariucci Editori.
- Cometti, G., Ongaro, L., Alberti, G., (2005b). Riscaldamento e prestazione sportiva. SDS - Scuola dello Sport 17-27.
- Cometti, G., Ongaro, L., Alberti, G., (2005a). Riscaldamento e prestazione sportiva. SDS - Scuola dello Sport 13-24.
- Cox, R. H., (1978). Choice response time speeds of the slide and cross-over steps as used in volleyball. Res.Q.Exerc.Sport 49, 430-436.
- Cox, R. H., (1980). Response times of the slide and cross-over steps in volleyball blocking. Res.Q.Exerc.Sport 51, 430-436.
- Dal Monte, A., Faina, M., (1999). Valutazione dell'atleta. UTET, Torino.
- de Leva, P., (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. J.Biomech. 29, 1223-1230.
- Del Sal, M., Rocchi, M., Re, G., (2007). Allenamento per lo sviluppo della forza reattivo-esplosivo balistica nella pallavolo: applicazioni ed analisi. Italian Journal of Sport Science 12, 129-136.
- Dempster, W. T., (1955). Space requirement of the seated operator. W.A.D.C Technical Report. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- Donà, G., Zorzi, E., Petrone, N., Sawacha, Z., Cobelli, C., (2006). Biomechanical Analysis of three different blocking footwork techniques in volleyball: a pilot study. Department of Sport Science and Kinesiology University of Salzburg 14-18 July 2006 (eds.), Salzburg.
- Fantozzi, S., Lobietti, R., Stagni, R., Merni, F., (2006). A new protocol for kinematic analysis of two volleyball players simultaneously during spike and block using stereo-photogrammetry. München, Journal of Biomechanics, Volume 39, Supplement 1, S561.
- Fontani, G., Ciccarone, G., Giulianini, R., (2000). Nuove regole di gioco ed impegno fisico nella pallavolo. SDS 50, 14-20.
- Gehri, D. J., Ricard, M. D., Kleiner, D. M., Kirkendall, D. T., (1998). A comparison of plyometric training techniques for improving vertical jump ability and energy production. J Strength.Cond.Res. 12, 85-89.
- Gerberich, G. S., Luhmann, S., Finke, C., et al., (1987). Analysis of severe injuries associated with volleyball activities. The Physician and Sport Medicine 15, 75.

- Golhofer, A., Bruhn, S., (2003). The biomechanics of jumping. In: Golhofer, A., Bruhn, S. (Eds.), *Handbook of Sports Medicine and Science: Volleyball*. Blackwell Science Pub Publisher, pp. 18-28.
- Hay, J. G., Reid, J. G., (1988). *Anatomy, Mechanics and Human Motion*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Heuchert, R., (1978). Zur Struktur de Sprunges und Entwicklung der Sprungkraft in der Sportspielen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Deutschen Hochschule für Körperkultur Leipzig* 19, 137-144.
- Hochmuth, G., (1983). *Biomeccanica dei movimenti sportivi*. Edizioni Nuova Atletica del Friuli.
- Johnson, R. E., (1977). A technique for determining the path of the whole body center of gravity. *RQES* 48, 222-232.
- Kabada, M. P., Ramakrishnan, M. E., Wooten, J., Gainey, G., Gorton, G., Cochran, G. V. B., (1989). Repeability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *J Orthop.Res.* 7, 849-860.
- Kapandji, I. A., (1974). *Fisiologia articolare*. Marrapese Editore.
- Kwak C.S., Jin S.T., Hwang K.S., Yoon S.W., (1989). A biomechanical analysis of the slide and crossover steps in the volleyball blocking. *Korean Journal of Sport Science* 1, 71-83.
- Lehnert, M., Janura, M., , S. P., Vaverka, F., (2001). *3D Analysis of Blocking in Volleyball*. University of San Francisco.
- Lobietti, R., Fantozzi, S., Merni, F., (2006a). Blocking the quick attack in Volleyball: a 3D kinematic analysis. *Department of Sport Science and Kinesiology University of Salzburg 14-18 July 2006 (eds.)*, Salzburg.
- Lobietti R., Fantozzi S., Stagni R., Merni F., (2006b), “Analisi cinematica della ricaduta dalla schiacciata seguita dal muro nella pallavolo: studio pilota” *Abstract Book del VII Congresso nazionale della Società Italiana di analisi del movimento in clinica*. Pag 103
- Lobietti, R., Merni, F., (2007). Blocking footwork techniques used by male and female volleyball players are different. *Journal of Human Movement Studies* in press.
- Lobietti, R., Merni, F., Ciacci, S., (2005). *A 3D Biomechanical Analysis of Volleyball Block*. Edizioni Centro Universitario Sportivo Bolognese.
- Mencarelli, M., (2004). La valutazione e l'individualizzazione delle strategie di sviluppo della capacità di salto nella pallavolo femminile di alto livello. *CONI 2° Corso nazionale per allenatori di 4° livello*.
- Merni, F., Lobietti, R., (2005). *Biomeccanica della battuta in salto nella pallavolo*. SDS Scuola dello Sport, 47-52.

- Platonov, V. N., (2004). Fondamenti dell'allenamento e dell'attività di gara. Calzetti & Mariucci.
- Quade, K., (1993). Zur Funktion und Belastung der unteren Extremitäten bei volleyballspezifischen Sprüngen. SFT-Verlag Erlensee.
- Schmidtbleicher, D., Golhofer, A., (1982). Neuromuskuläre Untersuchungen zur Bestimmung individueller Belastungsgrößen. Leistungssport 12, 298-307.
- Thomas, J. R., Nelson, J. K., (2001). Research methods in physical activity. Human Kinetics.
- Tilp, M., (2004). Biomechanische Aspekte des Volleyballspiels - Sprung, Schlag und Ballflugbahn.
- Tokuyama, M., Ohashi, H., Iwamoto, H., Takaoka, K., Okubo, M., (2005). Individuality and reproducibility in high-speed motion of volleyball spike jumps by phase-matching and averaging. J Biomech. 38, 2050-2057.
- Verchoshanskij, Y., (1997). Mezzi e metodi per l'allenamento della forza esplosiva - Tutto sul metodo d'urto. SSS, Roma.
- Verchoshanskij, Y., (2001a). Introduzione alla teoria e metodologia della allenamento sportivo. CONI-Scuola dello sport.
- Verchoshanskij, Y., (2001b). La preparazione fisica speciale. CONI-Scuola dello Sport.
- Vint, P. F., (1997). Qualitative Analysis of a volleyball Blocking Performance. University of North Carolina at Greensboro.
- Weineck, J., (2001). L'allenamento ottimale. Calzetti & Mariucci, Perugia.
- Zatsiorsky, V. M., (2002). Inertial Properties of Cadavers. In: Robertson, L. D., Stahl, A., Campbell, D., Bojda, K. (Eds.), Kinetics of Human Motion. Human Kinetics, Champaign, IL, USA, pp. 575-582.
- Zatsiorsky, V. M., Seluyanov, V. N., Chugunova, L., (1990). In vivo body segment inertial parameters determination using a gamma-scanner method. In: Berme, N.