

# L'analisi biomeccanica nella scherma

---

# strumenti informatici di analisi biomeccanica applicati alla tecnica del gesto schermistico

di Alberto Bernacchi

**Professionescherma.org**

<http://www.professionescherma.org>

[webmaster@professionescherma.org](mailto:webmaster@professionescherma.org)

© Tutti i diritti riservati

Agosto 2004

---

## introduzione

Poco più di trent'anni fa, i primi pionieri della biomeccanica applicata all'allenamento sportivo riuscirono per la prima volta a digitalizzare in video il movimento del corpo umano -dopo averlo filmato con una videocamera- ed a studiarne la meccanica con l'ausilio di strumenti informatici, con lo scopo di incrementare la performance dei loro atleti. Nel corso degli anni la tecnologia si è sviluppata, divenendo più accessibile e molti allenatori e tecnici sportivi hanno incominciato sempre più di frequente a produrre immagini e filmati video delle prestazioni delle loro squadre o degli atleti impegnati in gare individuali. Al giorno d'oggi, con il progressivo ridursi dei costi degli strumenti informatici e di videocattura, l'analisi computerizzata del gesto atletico è divenuta per molti sport uno dei metodi preferenziali per la ricerca dell'incremento della performance agonistica ed il miglioramento delle capacità tecniche dell'atleta.

Molti allenatori sono in grado di estrarre una quantità notevole di informazioni da un video che mostra il gesto atletico e su questa base riescono ad elaborare una analisi dei fattori da migliorare nella tecnica e nella gestione tattica. La visione di filmati inerenti alla prestazione agonistica è molto diffusa negli sport di squadra, ma ricopre oggi uno spazio sempre maggiore anche nelle discipline individuali, come per esempio il golf, dove tra i giocatori di alto e altissimo livello viene spesso impiegata nella ricerca di uno swing migliore.

Anche il maestro di scherma è in grado di visualizzare gli aspetti della prestazione osservando l'atleta in pedana, dunque anche per il tecnico della scherma la semplice visione a posteriori di un filmato, a velocità naturale, può rappresentare un valido ausilio nella ricerca di una prestazione migliore per i suoi schermitori. Gli strumenti di moviola e di zoom permettono inoltre un'analisi più accurata, che evidenzia i dettagli della performance in modo sempre più preciso.

Tuttavia ci sono situazioni nelle quali il numero di informazioni contenute in un video è estremamente complesso e non è immediatamente chiaro e percepibile da parte dell'osservatore, per quanto tecnico possa essere il suo punto di vista.

---

La differenza tra due atleti può essere così impercettibile da non risultare osservabile all'occhio umano e spesso non si riesce a distinguere facilmente in quale caratteristica o per quale motivazione tecnica un atleta prevalga sull'altro. Nella scherma, inoltre, non è possibile determinare un modello antropometrico di base da elevare a modello generale e la corretta esecuzione del gesto tecnico non è limitata alla semplice correttezza biomeccanica. Anche una azione semplice come la botta dritta, che deve essere tuttavia eseguita alla giusta misura, con la giusta scelta di tempo e con adeguata velocità, non è misurabile solo in termini di correttezza formale del movimento, come invece, ad esempio, l'esecuzione di un salto in lungo. Se anche così non fosse, sapendo che ai massimi livelli di uno sport la differenza tra la vittoria e la sconfitta corre spesso su un filo molto sottile, il tecnico vorrà disporre di strumenti sempre più analitici e precisi in grado di soddisfare esigenze crescenti.

Per questa ragione numerosi ricercatori continuano a lavorare allo sviluppo di strumenti e algoritmi matematici sempre più sofisticati per la cattura in video e l'analisi del movimento sulla base di parametri cinematici e cinetici quali la velocità, l'accelerazione, l'angolo, la velocità angolare e molti altri. La complessa matematica su cui si fondano gli algoritmi di analisi del movimento a partire da un video non è affatto una conoscenza scontata, ma lo sviluppo attuale dell'informatica consente di semplificare gli strumenti a disposizione degli allenatori. La ricerca in questo campo si orienta oggi ad una divaricazione tra gli strumenti destinati agli scienziati, per esempio per applicazioni di ricerca medica, e strumenti meno complessi ma altrettanto validi, dotati di interfacce più amichevoli e più adatti alla diffusione di queste tecniche di analisi tra gli allenatori di qualunque livello.

Anche in campo schermistico, dunque, è possibile supporre che il maestro possa avvalersi proficuamente di tali strumenti, almeno in fase di impostazione del gesto tecnico e della misura della correttezza formale dello stesso e non è escluso che da una applicazione di questo genere si possa sconfinare nella tattica e nella strategia dell'assalto. Quella che segue è una panoramica sulle possibilità offerte da un campo in continua evoluzione, trattata dal punto di vista della scherma, con le esigenze e le peculiarità che essa implica.

---

## l'evoluzione scientifica

Sul finire degli anni Ottanta la tecnologia dell'hardware per l'acquisizione di flussi di dati in tempo reale si poteva dire ormai abbastanza sviluppata per la realizzazione di sistemi di analisi cinematica basati sull'acquisizione video. Tuttavia, sebbene si potessero già acquisire dati tridimensionali sul movimento umano, le possibilità di interpretazione e di studio del movimento erano ancora piuttosto limitate dalla necessità di analizzare ciascun piano – sagittale, frontale e trasversale - separatamente. Ulteriori sviluppi tecnologici legati all'acquisizione dei dati, all'elaborazione delle immagini, alle tecniche di ricostruzione tridimensionale, all'elaborazione del segnale in ingresso, alla robotica e alla realtà virtuale permisero contemporaneamente nuove applicazioni nel campo dell'analisi biomeccanica.

Nel 1989 Paul Allard, ricercatore all'Università di Montreal e Jean-Pierre Blanchi dell'Università Joseph Fourier di Grenoble colsero per primi la necessità di riunire gli specialisti della scienza della biomeccanica e i ricercatori delle scienze del movimento per permettere un costruttivo confronto circa i recenti progressi tecnologici e discutere i possibili sviluppi nella comprensione del movimento del corpo umano nello spazio tridimensionale.

Il *Simposio Internazionale sulla Analisi tridimensionale del Movimento umano* fu il primo forum tecnico e scientifico per la ricerca sul movimento umano, che permise il confronto del lavoro svolto dai ricercatori di diversi campi, dal trattamento delle disabilità e delle malattie muscolo-scheletriche, allo sport e prestazione agonistica, dagli studi di base sulla biomeccanica alla fisiologia muscolare.

Il simposio fondò le basi per la comunicazione e i contatti tra i migliori ricercatori scientifici delle diverse aree di interesse e incoraggiò la discussione e il confronto multidisciplinare tra le diverse discipline e specialità scientifiche. Piuttosto che essere una rassegna dei recenti progressi, il forum permise la condivisione delle informazioni e dei risultati della ricerca circa la filosofia di risoluzione dei problemi di misurazione ed analisi.

---

Per ottenere una miglior interazione tra i partecipanti e facilitare gli scambi di opinione e soprattutto per riunire le conoscenze afferenti a campi diversi ma correlati della biomeccanica, il simposio si ripete annualmente e offre molti e vari mezzi di comunicazione attraverso metodologie scientifiche e sociali, che coinvolgono gli scienziati, il pubblico e le industrie produttrici di tecnologie applicate.

Oggi la *International Society of Biomechanics (ISB)* – sito web <http://www.isbweb.org> - è il maggior organismo di studio e ricerca in questo campo ed è organizzata in diversi gruppi di lavoro, ciascuno inerente a settori diversi di applicazione delle conoscenze scientifiche relative al movimento umano. Accanto alle divisioni più propriamente legate alle applicazioni in campo medico e alla fisioterapia, vi sono due sezioni di ricerca specificamente orientate allo sviluppo di tecnologie informatiche applicate alla biomeccanica: l'*ISB Technical Group on Computer Simulation* e l'*ISB Three-dimensional Movement Analysis Group*.

I contenuti e le pubblicazioni dell'ISB sono orientati ai concetti generali dell'analisi del movimento ed allo sviluppo della tecnologia di base di questo settore e adottano una filosofia di comunicazione prettamente scientifica, ma non mancano studi specifici nel campo della performance agonistica di diverse discipline sportive, accessibili anche ai tecnici ed immediatamente comprensibili a chi non abbia specifiche conoscenze scientifiche. Rispetto ad altre possibili applicazioni, in particolare in campo medico, l'analisi del movimento in campo sportivo risulta ovviamente meno supportata a livello di ricerca primaria, tuttavia proprio dagli strumenti relativi alla fisioterapia ed alla fisiologia muscolare può trarre un'utilità sostanziale.

Con l'evolversi del fenomeno sportivo nella società ed il relativo massimizzarsi degli interessi economici legati a tale fenomeno, anche la ricerca nel campo dell'incremento della performance agonistica ha potuto subire uno sviluppo e, a metà degli anni Novanta, sono sorte le prime industrie specializzate nella realizzazione di sistemi sempre più sofisticati e specifici per l'analisi biomeccanica delle prestazioni sportive nelle diverse discipline. I primi strumenti di questo genere sono stati dedicati al Golf, al Tennis, allo Squash, all'Atletica leggera ed alla Ginnastica, laddove il gesto tecnico assume una più immediata evidenza nella prestazione agonistica.

---

## la simulazione computerizzata

Sono molti gli strumenti tecnologici a disposizione dell'analisi biomeccanica del movimento, sviluppati dai principali Istituti Universitari di ricerca in tutto il mondo. Anche numerose industrie sono specializzate nelle applicazioni per la produzione meccanizzata, la robotica, la produzione di strumentazioni mediche e, non ultime, gli strumenti per l'analisi della prestazione sportiva.

In particolare nel campo software troviamo molti applicativi che possono essere utilizzati nell'analisi della prestazione sportiva mediante la **simulazione tridimensionale** del movimento del corpo umano; questi softwares si basano sulla distinzione dei diversi punti del corpo che permettono il movimento – articolazioni, ossa, muscoli - e permettono di gestire virtualmente per ciascuno di essi tutte le variabili del movimento, tra cui vettore direzionale, velocità e accelerazione, simulando il movimento nello spazio tridimensionale in base ai limiti fisici impostati. La creazione di un modello computerizzato per il movimento, in campo sportivo, permette il confronto tra la prestazione specifica dell'atleta ed il modello stesso, calibrato sulle variabili cinetiche e cinematiche del gesto tecnico "perfetto". Si tratta di un campo di ricerca orientato alla determinazione e classificazione delle caratteristiche fondamentali del gesto tecnico, con l'obbiettivo di individuare quali variabili possono essere modificate per incrementare la prestazione.

Un prodotto italiano di simulazione computerizzata è il *MBDyn*, software di analisi multidisciplinare e orientato allo studio del movimento di più corpi che si spostano in contemporanea. Tra gli altri, i più diffusi softwares di simulazione tridimensionale del movimento sono l'*ADAMS* – prodotto dalla statunitense Mechanical Dynamics, l'*AnyBody Modeling System* – della danese AnyBody Technology, il *DADS General modeling, simulation and analysis of mechanical systems* – della LMS International, il *FIGURE Biological Modeler*, l'*HAVOK Real-time interactive physics*, il *MBSSIM MultiBody System SIMulation* – sviluppato dalla Università tedesca di Heidelberg, il *Pro/Mechanica* – della statunitense Rasna, il *SD/FAST* – della statunitense Symbolic Dynamics, il *SIMM* – della MusculoGraphics, il *SIMPACK* – della tedesca INTEC GmbH e il *Working Model 2D and 3D simulation software* della MSC Software Corporation.

## L'analisi video basata

Se i softwares di simulazione computerizzata del movimento permettono lo studio analitico delle diverse variabili del movimento e la ricerca dei fattori fondamentali che influenzano la performance agonistica, essi sembrano tuttavia più orientati alla ricerca scientifica e poco rivolti, invece, all'applicazione sul campo. Le variabili sulla cui analisi essi si basano sono inerenti alla fisiologia e vengono gestite mediante complessi algoritmi matematici, che non possono essere compresi appieno senza un'adeguata preparazione scientifica.

Certamente più accessibili all'allenatore o al tecnico sportivo non dotato di particolari conoscenze matematico-scientifiche sono i sistemi di analisi del movimento basati sulla cattura di **sequenze video**. Esistono molte tipologie di questi sistemi, oggi prodotti da numerose industrie specializzate. I costi della tecnologia di cattura e analisi video del movimento non sono proibitivi, tuttavia possono essere più facilmente ammortizzati a

livello di grandi strutture di ricerca che non certo di realtà sportive locali. E' questa la ragione per la quale l'uso di questi sistemi non è quasi mai continuativo ed è generalmente legato a specifici progetti di ricerca in campo sportivo. Possono essere dotati di sistemi avanzati di analisi video del movimento i centri sportivi universitari, i centri federali delle singole discipline, i grandi enti di ricerca nel campo della salute e dello sport; solo occasionalmente vi possono accedere gli sportivi che non praticano attività agonistica o che la praticano a livelli anche solo appena inferiori ai massimi, ed in genere anche gli sportivi agonisti ed i professionisti del settore ricorrono ai sistemi di analisi video solo nell'ambito di attività occasionali di ricerca, i cui dati vengono immagazzinati *una tantum*.

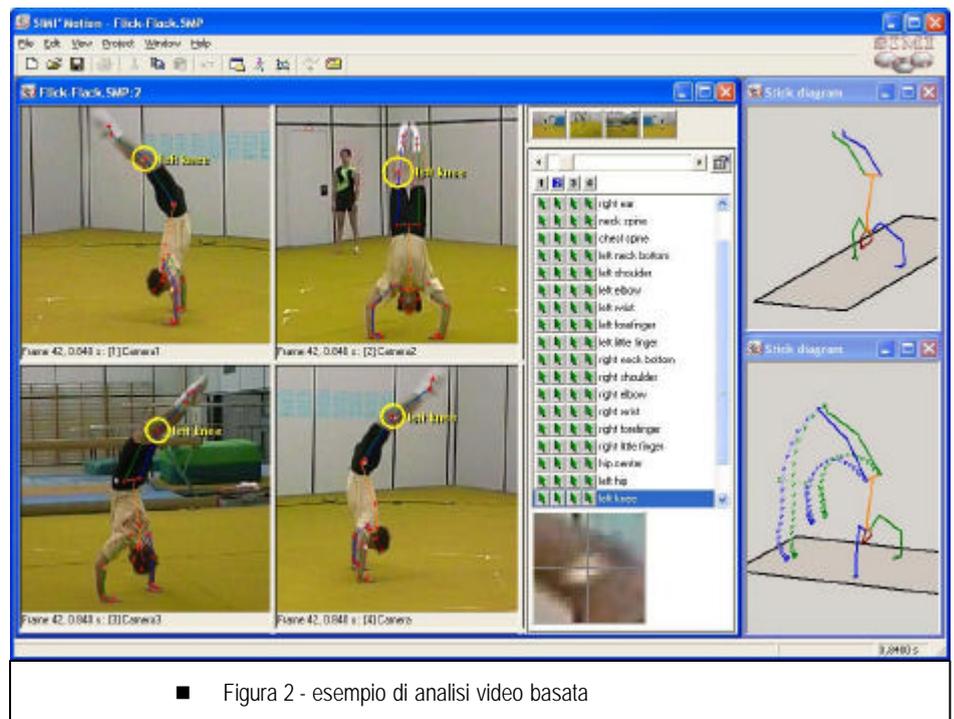
L'analisi video basata è possibile grazie alla cattura di filmati video del gesto atletico, osservato da più angoli di ripresa in contemporanea, e alla successiva digitalizzazione degli stessi per la scansione e l'analisi computerizzata delle variabili che di volta in volta vengono definite.



■ Figura 1 - il sistema APAS

Generalmente vengono utilizzate due o più telecamere, poste in corrispondenza dei **piani sagittale e frontale**, che riprendono in tempo reale l'esecuzione del gesto atletico ed inviano il flusso di dati ad un computer, il cui compito è la digitalizzazione hardware del segnale in ingresso e la successiva elaborazione del video per l'analisi del movimento. Questa è basata sull'analisi di alcune variabili legate allo spostamento nello spazio di parti predeterminate del corpo. Per esempio è possibile analizzare il movimento di un ginocchio quanto a velocità, direzione di spostamento, accelerazione laterale, momento delle forze, angolo di torsione etc. L'operatore potrà predefinire quali parametri analizzare e quali non prendere in considerazione, stabilire il *range* entro il quale definire il modello di prestazione e confrontare il flusso di dati in forma grafica o di sequenza di risultati espressi in forma matematica o di coordinate cartesiane.

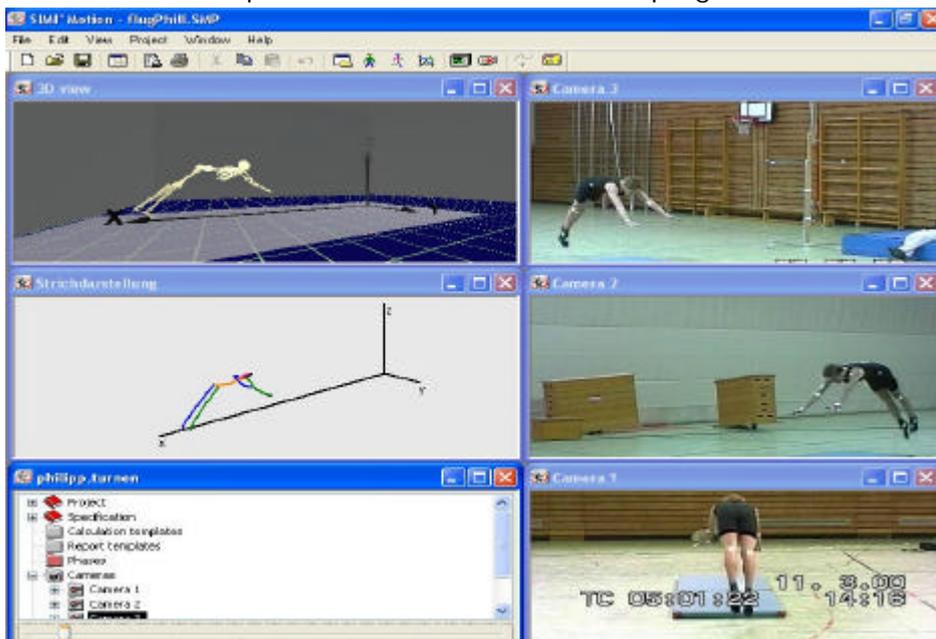
Nell'analisi grafica il computer restituisce un'immagine semplificata dei segmenti che sostituiscono il corpo umano o le parti dello stesso che interessa analizzare, registrando a partire dal flusso di dati video, il variare di tutti i parametri considerati



■ Figura 2 - esempio di analisi video basata

nello spazio e nel tempo. Nessuno dei dati raccolti del computer è invisibile ad occhio nudo ed un allenatore della specifica disciplina sportiva potrebbe valutare la correttezza formale del gesto tecnico anche senza ricorrere a tale procedura informatica.

Tuttavia la digitalizzazione dei dati osservabili permette innanzitutto di quantificare in forma numerica il dato stesso, consentendo di misurare la "correttezza" del movimento in termini matematici e quindi oggettivi. Inoltre la procedura di analisi computerizzata permette di tenere sotto controllo molti parametri contemporaneamente e di registrarli per una analisi successiva, cosa che sarebbe impossibile all'occhio umano anche rivedendo più e più volte il filmato della stessa performance. Un altro vantaggio legato a questa tecnica di analisi è la possibilità di immagazzinare una quantità di dati enorme per successivi confronti nel corso del tempo e per il confronto tra diversi atleti con livelli di performance dissimili. E' proprio la continuità nel tempo del lavoro di analisi la chiave dell'utilità di tali sistemi; se un'applicazione *una tantum* permette comunque di acquisire dati utili alla comprensione delle caratteristiche della *performance*, l'applicazione continuata permette la costruzione di un programma di lavoro mirato al



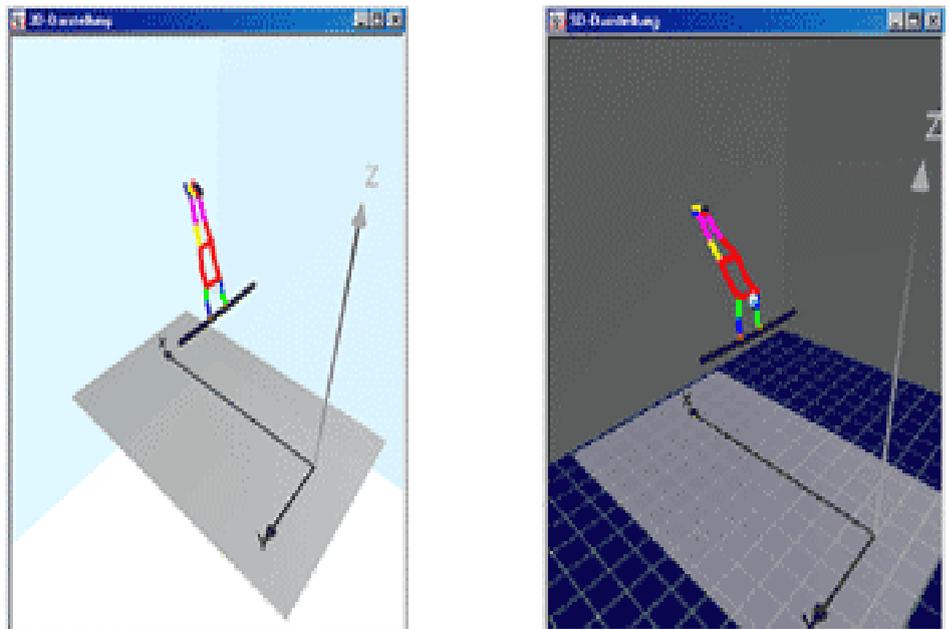
■ Figura 3 - esempio di analisi video basata

miglioramento della prestazione attraverso l'analisi del miglioramento dei singoli fattori fisici e dinamici che la influenzano. Nelle discipline altamente tecniche, dove la correttezza del gesto atletico è un presupposto essenziale della buona riuscita della *performance*, questo genere di analisi può rivelarsi molto utile. Molte sperimentazioni

sono state fatte nella Ginnastica artistica, disciplina nella quale è immediatamente evidente la forma del movimento, ma anche nella scherma vi è la possibilità di applicare tecniche analoghe, per esempio nell'analisi della posizione di guardia, della distribuzione del peso e della efficacia dell'affondo.

Qualunque siano il sistema di videocamere ed il software usato, il processo di analisi biomeccanica video basata si sviluppa secondo una sequenza standardizzata: per prima cosa, come si è detto, si cattura l'azione tecnica in un video, che viene registrato su un supporto digitale, usando preferibilmente più telecamere, per assicurare la percezione tridimensionale dei dati. Sono possibili tuttavia anche analisi basate su filmati **bidimensionali**, per quanto questo genere di elaborazione comporti alcune limitazioni circa la tipologia dei dati che se ne può ricavare (essenzialmente solo la velocità lineare e l'accelerazione sul piano delle ascisse e delle ordinate); il secondo step nel processo di analisi consiste nella creazione di un *item di calibrazione*, che costituisce la lista dei parametri da valutare e la definizione delle variabili che devono venire ricavate dal filmato. La calibrazione del sistema, di fatto, ha la funzione di istruire l'algoritmo del software di analisi per poterne ricavare i dati utili alle diverse

ricerche. Gli algoritmi dei software di analisi sono infatti generalmente molto aperti - salvo naturalmente che il programma non sia stato progettato per l'applicazione ad una disciplina sportiva particolare - e permettono di essere adattati a diverse

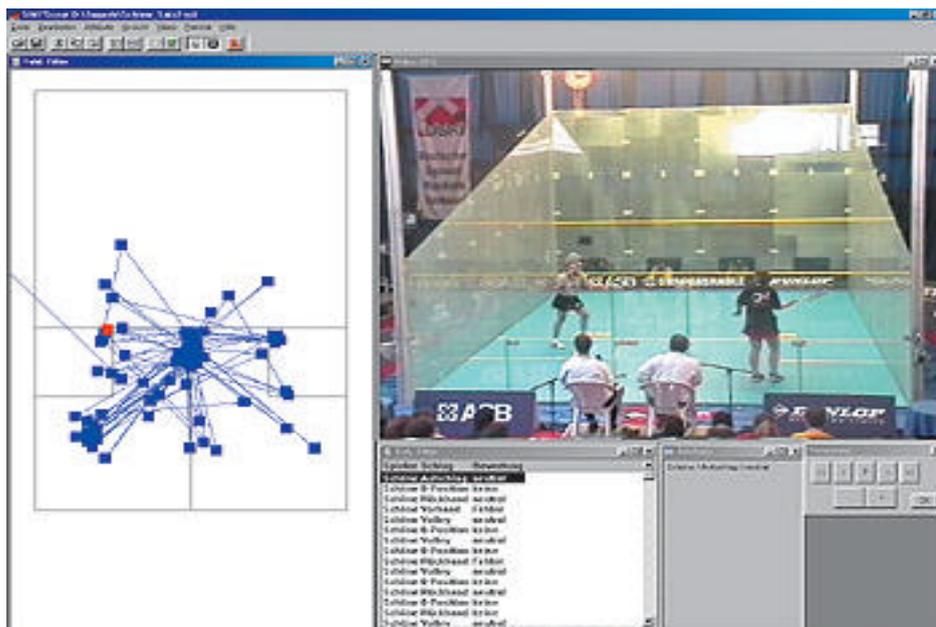


■ Figura 4 - il piano cartesiano a tre assi

situazioni e a diverse tipologie di gesto tecnico, nell'ambito di discipline sportive anche molto dissimili tra loro.

Il passaggio successivo consiste nel trasferimento del video al computer, processo che viene effettuato attraverso la digitalizzazione del flusso di dati e la conversione in un formato video compresso adatto ad essere archiviato su un supporto informatico quale l'hard disk dell'elaboratore; i softwares di analisi più evoluti sono oggi in grado di eseguire la digitalizzazione del flusso di dati anche *real-time*, cioè al momento stesso in cui il filmato viene realizzato attraverso le telecamere, permettendo un certo risparmio di tempo e soprattutto risultando utili nelle applicazioni più dinamiche. Normalmente utilizzati sui campi degli sport di squadra, essi permettono all'allenatore di valutare in tempo reale l'azione nel suo svolgersi e di adattare gli schemi di gioco con maggior rapidità, grazie alla possibilità di cogliere tutti i parametri utili con un solo colpo d'occhio e di analizzare immediatamente i dati restituiti dall'elaboratore. Nel caso invece dei

softwares che non operano in tempo reale tutte le operazioni di analisi possono essere effettuate solo a posteriori, ad azione e filmato conclusi. Un altro *step* fondamentale consiste nella digitalizzazione dell'*item di riferimento*, che completa la fase di calibrazione. Segue poi la fase più importante del processo di elaborazione, che consiste nella trasposizione dei dati raccolti nel video allo



■ Figura 5 - esempio di applicazione in tempo reale

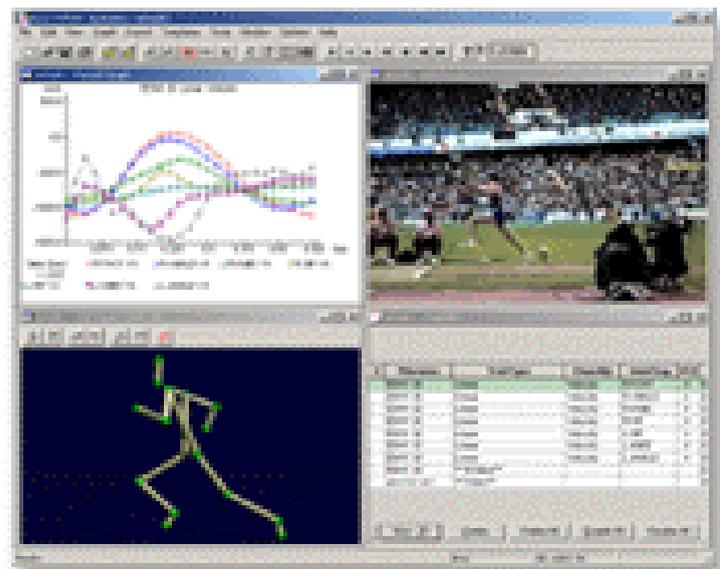
spazio tridimensionale virtuale nel quale verrà poi eseguita l'analisi vera e propria: questa parte del processo si basa su **algoritmi** di

trasformazione diretta lineare, gli stessi usati per il *motion capture* nella creazione di videogiochi e nella realizzazione di molti effetti speciali del cinema.

A ciascun punto del corpo viene fatto corrispondere un punto individuato in un sistema di piani cartesiani a tre assi (x, y, z) che rappresentano le tre dimensioni dello spazio: la posizione di ciascun punto è registrata nel video e, attraverso il processo di digitalizzazione e il confronto con l'oggetto di calibrazione, viene correttamente trasferita al sistema cartesiano. L'oggetto di calibrazione serve all'algoritmo per la distinzione dei diversi punti e per elaborare una previsione del loro possibile spostamento nello spazio, in base ai vincoli fisici che lo regolano. Avanzate funzioni di **cinematica inversa** sono in grado di riprodurre le interconnessioni reciproche dei punti del corpo – ad esempio tra torsione del polso oltre i 90° e rotazione dell'ulna e del radio al gomito – e permettono di creare sottounità logiche che l'algoritmo è in grado di valutare realisticamente.

Il passaggio finale del processo consiste nell'analisi per

ciascun punto così inserito nel sistema cartesiano delle variabili di velocità, accelerazione, angolo di rotazione, momento delle forze, vettore di spostamento e di tutti gli altri parametri richiesti dalle esigenze specifiche dei diversi progetti di studio del movimento.



■ Figura 6 - la fase di analisi

---

Tutti i dati vengono registrati in forma matematica, così restituiti dall'algoritmo di elaborazione. Alla base del procedimento sta la semplice definizione dei dati in una tabella a doppia entrata che ne conserva i valori nello svolgersi del tempo: la velocità di spostamento orizzontale di un punto, per esempio, viene registrata ad intervalli di tempo ( $\Delta t$ ) regolari, in base alle coordinate alle quali si colloca.

I dati registrati per ciascun parametro nella tabella vengono poi ulteriormente elaborati in forma grafica, il che permette di visualizzarli organizzati in istogrammi, sinusoidi o diagrammi a punti (*scattered points diagrams*), per una più facile ed immediata comprensione. Questi dati telemetrici non sono altro che sequenze di valori indicativi dello svolgersi del gesto tecnico. Essi permettono la misurazione oggettiva di tutte le variabili in gioco ed il confronto tra le prestazioni di diversi atleti analizzati o dello stesso atleta in momenti diversi. Tuttavia l'utilità dell'analisi biomeccanica computerizzata non sarebbe completamente spiegata qualora essa si limitasse alla registrazione numerica di parametri predefiniti. In effetti i detrattori di queste tecniche di studio del movimento sostengono la sterilità di un'analisi prettamente matematica, riconoscendole solo un'utilità generica a livello di studio biomeccanico del movimento, ma scarsamente proficua per l'analisi tecnica di un gesto atletico e la conseguente ricerca di una miglior prestazione. Non tutte le discipline sportive, secondo questa visione limitante dell'analisi computerizzata, possono trarre vantaggio da tali sistemi: se la ginnastica o l'atletica possono essere in qualche modo soggette alla **misurazione** di diversi parametri e se l'espressione più o meno intensa di questi può effettivamente influenzare la prestazione, altre discipline sembrano meno misurabili poiché le differenze tra i diversi atleti non consistono prevalentemente nelle capacità fisiche. Tuttavia, a prescindere dal fatto che è oggi possibile applicare tecnologie di analisi computerizzata anche agli aspetti tattico-strategici e allo studio degli schemi di movimento negli sport di squadra, è comunque un fatto che in qualunque disciplina sportiva l'esecuzione del gesto tecnico è basata sul possesso di alcuni fondamentali, definibili come modello di movimento entro una determinata situazione di gioco. Tali fondamentali possono essere espressi in modo diverso da diversi atleti, o anche modificati nella loro oggettiva realizzazione e risultare così più o meno efficaci nel contesto in cui vengono applicati. L'analisi computerizzata permette quindi, se non altro, almeno lo studio delle ragioni dell'efficacia di un gesto tecnico eseguito in un certo modo, comparato con lo stesso gesto

---

eseguito con velocità, accelerazione e direzione diverse. Sulla base di tale analisi è possibile individuare i punti di forza di atleti diversi e del loro modo di eseguire un fondamentale, o le variazioni che ciascuno vi introduce in determinate circostanze e che possono risultare nell'espressione di una tecnica riproducibile anche da altri atleti attraverso l'allenamento. Per esemplificare, nella scherma potrebbe essere utile riconoscere che un atleta più abile di un altro nel fondamentale della parata di quarta esegue tale gesto con una maggior accelerazione del polso rispetto ad un altro, ma con minor rotazione del gomito.

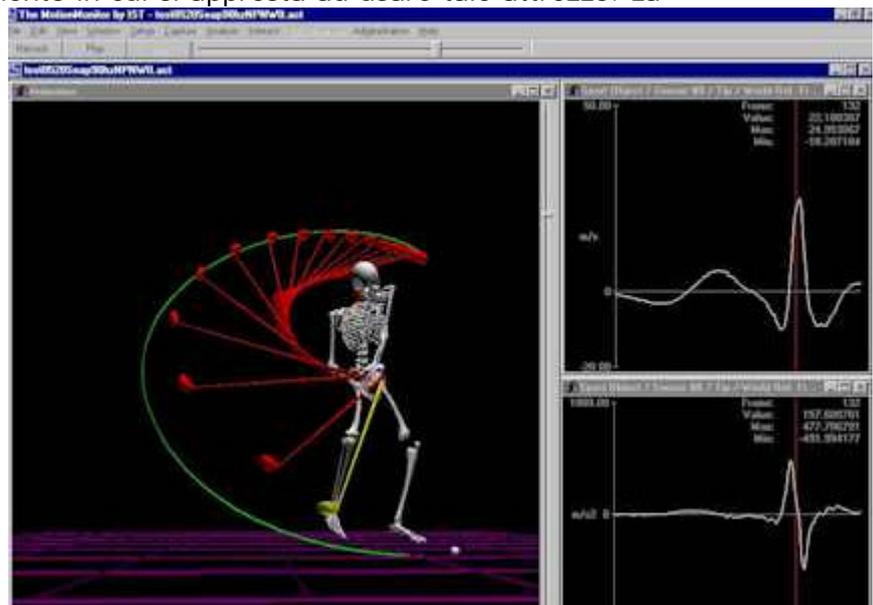
L'analisi biomeccanica del movimento non è comunque un fatto prettamente matematico, poiché essa si basa anche sulla esperienza visiva dell'allenatore o del tecnico che vi fa ricorso. I moderni softwares sono in grado di creare sulla base dei dati raccolti una figura tridimensionale del corpo umano che si muove entro uno spazio virtuale; si tratta di un metodo di visualizzazione dei dati complementare – se non addirittura alternativo – a quello grafico-diagrammatico. La **visualizzazione** del corpo o dei segmenti dello stesso interessati nello specifico gesto atletico si avvicina molto per realismo alla visione diretta dell'atleta impegnato in gara. Tuttavia rispetto a quanto l'allenatore potrebbe osservare direttamente guardando l'atleta sul campo, la riproduzione tridimensionale computerizzata permette maggiormente di isolare i dettagli utili alla comprensione del gesto tecnico e dei fattori che influenzano positivamente o negativamente la *performance* agonistica. Si tratta di una visualizzazione selettiva, basata sulla scelta dei parametri che l'allenatore può definire in fase di impostazione del lavoro insieme al tecnico che opera al sistema informatico di acquisizione dei dati. L'allenatore interessato a valutare quale sia il livello raggiunto nell'esecuzione dei fondamentali potrà così più facilmente scomporre in sistemi e sottosistemi di movimento ciascuna tipologia di gesto tecnico, misurando per ciascun atleta il livello di correttezza esecutiva attraverso l'osservazione mirata dei dati raccolti sulla base delle esigenze impostate inizialmente.

Un'altra importante applicazione dell'analisi computerizzata trova spazio nelle discipline che prevedono l'uso di un attrezzo sportivo. Sviluppata per la prima volta per essere applicata al golf, la tecnologia di valutazione del feedback dell'attrezzo sportivo è la medesima utilizzata per l'analisi del movimento. Di fatto si tratta di due modalità

di analisi complementari, poiché l'utilizzo dell'attrezzo è strettamente correlata al movimento (della mano, del braccio) e quindi studiare come un atleta usa il suo attrezzo sportivo non può prescindere dallo studiare come si muove nello spazio.

Tutti i **parametri** già citati per l'analisi del movimento vengono applicati all'attrezzo, come se esso fosse un prolungamento del corpo. Se dell'analisi matematica del movimento si sono detti i limiti, quanto all'uso di un attrezzo essa non ha, di fatto, possibilità di essere rifiutata. Non c'è infatti sport che faccia uso di un particolare attrezzo sportivo nel quale non conti la sensazione di feedback che l'atleta percepisce nel momento in cui si appresta ad usare tale attrezzo. La

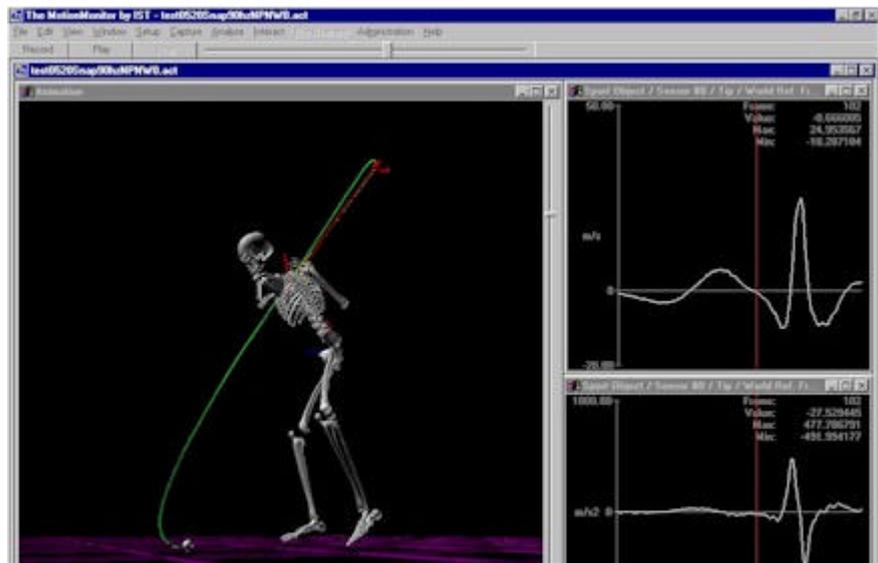
definizione del feedback è molto soggettiva, ma attraverso l'analisi computerizzata può essere in parte misurata in modo oggettivo, fino alla definizione di un modello personale che permetta a ciascun atleta di definire entro quali parametri la propria prestazione possa essere definita buona per quanto



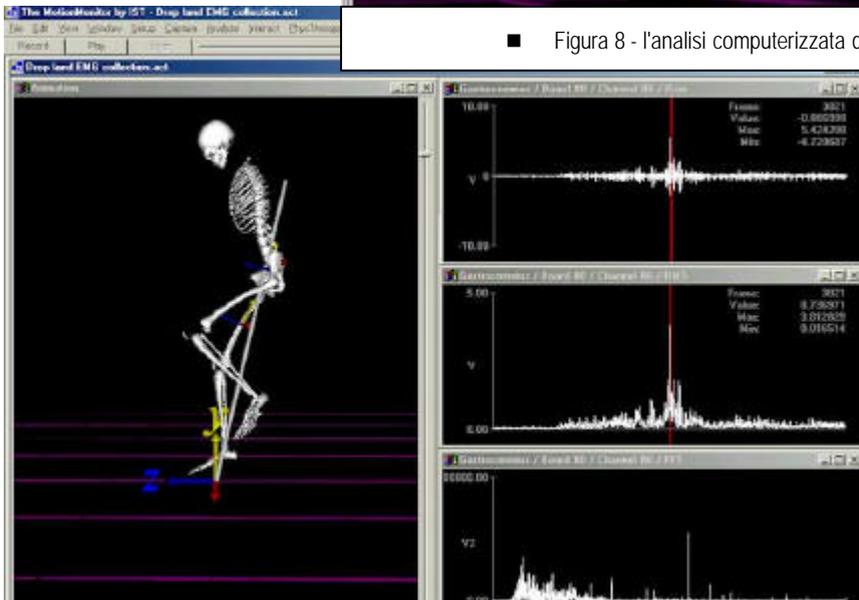
■ Figura 7 - l'analisi computerizzata dello swing

riguarda il feedback dell'attrezzo. I golfisti, già dalla metà degli anni Ottanta, spendono molto tempo nell'analisi del proprio swing. Quello dello swing è un gesto tecnico che ha fortissime implicazioni del feedback dell'attrezzo – la mazza da golf - e del feedback ambientale - vento e altri parametri -, difficilmente definibili al di là di una sensazione del tutto personale dell'esattezza della propria esecuzione.

L'**attrezzo** sportivo si muove nello spazio e rappresenta un segmento formato da punti che acquistano un vettore di velocità e direzione legato alla modalità di utilizzo nelle diverse circostanze. La misurazione dei parametri che ne limitano l'uso e la costituzione di un modello è fondamentale in fase di impostazione del giovane atleta, che deve per prima cosa apprendere ad aver confidenza



■ Figura 8 - l'analisi computerizzata dello swing



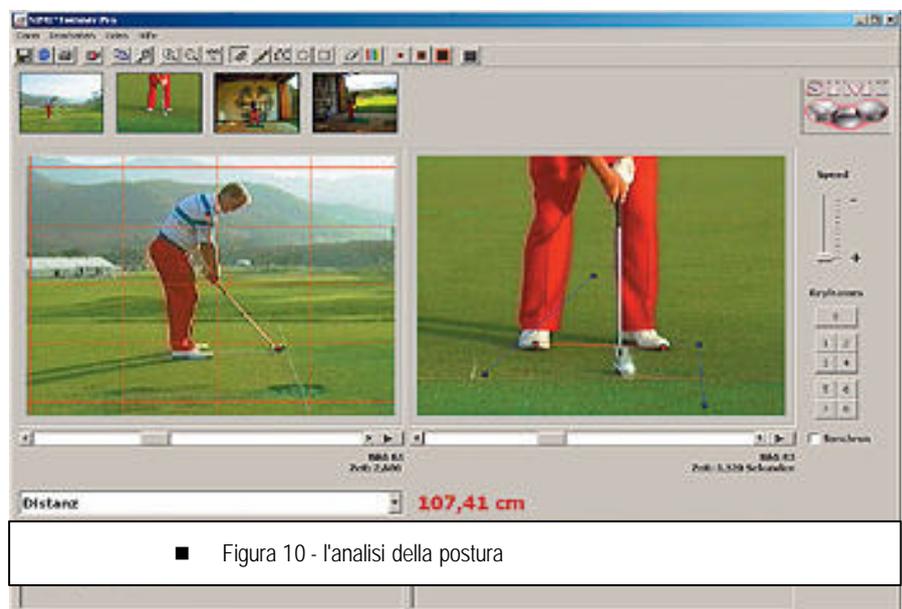
■ Figura 9 - l'analisi della postura

con lo strumento. Saper dosare la forza ed acquisire una tecnica fluida nello spostarlo sono le basi di un'azione efficace e vincente. Nella schermata di sciabola, ad esempio, saper limitare l'escursione della parata

di quinta permette l'esecuzione di una risposta più rapida. In effetti si tratta di un fondamentale che l'atleta di alto e altissimo livello ha già acquisito in anni di allenamento, tuttavia la possibilità di analizzare i dettagli e le differenze nell'utilizzo dello strumento può essere molto vantaggioso anche ai massimi livelli agonistici, per valutare le ragioni per le quali un atleta risulta più rapido di un altro, oppure per capire le cause della sua maggior efficacia nell'azione.

Un'ultima possibile applicazione dell'analisi computerizzata risiede nella analisi della **postura**; valutare la distribuzione

del peso, l'angolo di flessione delle gambe, il grado di distensione del braccio, l'inclinazione del busto, fino ai dettagli dell'arco del piede o del polso, costituisce un'importante fonte di dati per cogliere gli aspetti tecnici più specifici della *performance*, oltre che quelli tanto minuti da risultare poco immediati alla visione ad occhio nudo. Le caratteristiche della postura dei diversi atleti, il modo di ciascuno di interpretare il proprio posizionamento nello spazio o di prepararsi all'esecuzione del gesto atletico possono essere variabili discriminanti per una buona prestazione. Poter confrontare la propria postura con quella di un esempio vincente può ad esempio indicare la strada giusta per il miglioramento e il potenziamento di alcuni distretti fisici, mediante un programma di allenamento mirato.



## una tecnologia per tutti

La tecnologia è oggi un possesso di tutti e non è difficile pensare che l'uso di strumenti che nel ventennio scorso era privilegio di pochi - in particolare a causa degli elevati costi - sia oggi possibile anche a livello dilettantistico. Sebbene gli strumenti di analisi biomeccanica computerizzata più evoluti siano ancora espressione di una tecnologia di nicchia e riservata ai più grandi centri di studio e alle sperimentazioni in campo di massimo livello agonistico, è sempre più frequente

osservarne applicazioni anche ad un livello agonistico inferiore. La grande diffusione dei mezzi informatici e, più recentemente, la diffusione sul mercato consumer di



■ Figura 11 - un semplice sistema dilettantistico per l'analisi video basata

apparecchiature video sempre meno costose e sempre più performanti, ha permesso anche una generale crescita culturale che oggi può darci ragione di ritenere che tutti o quasi siano in grado di operare su sistemi tecnologicamente avanzati traendone un profitto per la propria vita personale o professionale.

Sistemi informatici di analisi del movimento possono oggi essere acquistati per cifre inferiori ai *tremila euro*, ma anche con cifre molto meno elevate è possibile approntare un sistema completo e versatile, adatto ad essere utilizzato in contesti diversi di tutte le discipline sportive. Anche in campo dilettantistico non è impensabile poter disporre di un sistema non dedicato, costituito cioè da strumenti che in genere vengono utilizzati per un ventaglio di applicazioni più ampio. Una **telecamera** digitale non professionale, progettata tipicamente per un utilizzo rivolto alla realizzazione dei filmati delle vacanze, se unita ad un cavalletto, offre ad un prezzo anche inferiore ai *quattrocento euro*, tutte le caratteristiche utili alla acquisizione video basata.

Disponendo poi di una vecchia telecamera analogica si può approntare senza grandi spese un secondo punto di ripresa per realizzare filmati tridimensionali e completare la parte video del sistema. La postazione deve comprendere anche un qualunque **computer**, purché dotato di due requisiti fondamentali: un hard disk capiente, di almeno *60 GB* e una scheda di acquisizione video basata sull'interfaccia *FireWire IEEE. 1394* o *USB2*. Il software per l'acquisizione e la digitalizzazione del video è generalmente venduto in *bundle* e compreso nel prezzo della telecamera, tuttavia, in mancanza di altro, si può ricorrere all'ottimo *Windows Movie Maker*, già compreso nei sistemi operativi *Microsoft Windows XP* preinstallati sui computer più recenti. La spesa complessiva per la parte prettamente informatica del sistema di analisi del movimento non supera i *novecento euro*, anche nel caso si voglia ricorrere per praticità di movimento ad un notebook portatile, più facilmente utilizzabile in contesti mutevoli quali i campi di gara.



■ Figura 12 - un sistema dilettantistico per l'analisi video basata

Nella scelta dei componenti del proprio sistema dilettantistico di analisi computerizzata del movimento, molta importanza deve essere data al sottosistema video. Quasi tutte le schede di acquisizione video oggi in commercio sono in grado di soddisfare le esigenze di un sistema dilettantistico, così come tutte le tipologie di telecamere digitali non presentano particolari controindicazioni ad essere usate in questo genere di attività. La discriminante per la creazione di un buon sistema resta nel software: oltre agli strumenti semiprofessionali, comunque non troppo costosi né specifici da essere riservati ai professionisti, esistono molti software reperibili in rete con licenza *shareware* e *freeware*, in grado di coprire tutte le maggiori esigenze dell'analisi video basata della maggior parte delle discipline sportive. Tra gli strumenti semiprofessionali di fascia più alta il più diffuso è l'*APAS*, ma anche i prodotti delle industrie statunitensi *Digital Movement* e *SIMI*, nonché quelli della britannica *IST* e della giapponese *Kown3D* offrono un buon rapporto qualità prezzo.

---

## applicazioni schermistiche

Si è spesso fatto riferimento a *case-studies* inerenti a discipline sportive individuali quali il golf, la ginnastica, l'atletica, lo squash. Sono questi infatti gli sport che per primi hanno fatto ricorso alle tecnologie di studio del movimento mediante strumenti informatici e sono queste, quindi, le discipline che per la loro ormai ventennale tradizione tecnologica, possono meglio di altre fungere da punto di riferimento e di confronto qualora si voglia implementare tale metodo di analisi anche in altri sport.

La scherma, con le sue "azioni" costituite da movimenti codificati e altamente formalizzati, si presta adeguatamente allo studio della biomeccanica del movimento attraverso strumenti informatici. L'indagine in questo settore, a livello di sport dilettantistico, è attualmente solo in fase sperimentale e un primo approccio alla materia deve innanzitutto delineare quali siano i parametri utili alla comprensione del gesto tecnico. In altri termini, l'applicazione pratica alle strategie di allenamento deve ancora trovare una sua dimensione e l'utilità delle tecniche di analisi computerizzata deve essere ancora pienamente dimostrata al di là della suggestione tecnologica che può indurre.

*Professionescherma.org* conduce attualmente uno studio di ricerca in questo campo, con l'obiettivo primario di definire i limiti di applicabilità degli strumenti tecnologici attualmente disponibili, oltre che di diffondere la conoscenza degli stessi tra i tecnici del settore schermistico; la prospettiva futura potrebbe essere quella di mettere in rete un *database nazionale* che funga da punto di riferimento dei risultati raggiunti e di fornire il supporto di specialisti nel settore informatico alle società sportive che intendano sviluppare una programmazione degli allenamenti basata anche sugli strumenti di analisi video. In particolare, non appena saranno del tutto chiarite le condizioni di utilità di queste nuove tecnologie, è auspicabile che venga creato un database di modelli di confronto ed *items di calibrazione*, cui possano attingere per le proprie analisi statistiche tutti gli atleti, i maestri e gli allenatori interessati.

Il primo passo sulla strada dell'integrazione delle tecnologie di analisi computerizzata nelle strategie di allenamento nella scherma è chiarire quale ne possa essere l'utilità in uno scenario futuro ma altamente verosimile.

---

E' possibile innanzitutto distinguere due categorie di schermatori che potenzialmente potrebbero trarre vantaggio da queste tecniche: i principianti, in fase di impostazione dei fondamentali, da un'età di 12-14 anni fino ai principianti più adulti, e, naturalmente, gli atleti agonisti di medio, alto e altissimo livello. Prescindendo da questi ultimi, le cui condizioni di allenamento possono prevedere già il ricorso a sperimentazioni molto avanzate in campo tecnologico, promosse dalla Federazione Nazionale o dai più grandi gruppi sportivi del paese, si può pensare verosimilmente ad una diffusione delle tecniche in esame in tutti le società di media grandezza che contino tra le proprie fila atleti di interesse nazionale. La spesa contenuta per dotarsi delle attrezzature necessarie a livello non altamente professionale - e per questo definibili come dilettantistiche, con il vantaggio di poter essere facilmente utilizzate senza un particolare *know-how* scientifico - e la continuità degli allenamenti garantiti da una struttura sociale possono permettere di ricavare effettivamente un prezioso aiuto dagli strumenti computerizzati.

Il **principiante**, già in età della ragione o prossimo alla stessa, potrà confrontare periodicamente il livello di fluidità dei propri fondamentali - ad esempio il passo avanti, l'affondo, le parate - con un modello e stabilire sotto la guida del maestro quali debbano essere migliorati ed in che modo. La valutazione dello strascinarsi di un piede nell'*affondo* oppure della perdita di velocità nell'avanzamento dovuta ad una tecnica errata nel *passo avanti* o ancora la mancanza di efficacia nell'esecuzione di un *colpo di fuetto* dovuta alla troppo precoce distensione del braccio, possono essere concretamente visualizzate, misurate e confrontate attraverso l'analisi computerizzata. Oltre a stimolare la capacità di visualizzare il proprio movimento corporeo, cui spesso nella scherma si ricorre con l'uso di specchi, la possibilità di misurare in termini numerici e statistici i parametri del proprio movimento può servire a chiarire sin nei dettagli all'allievo quale sia la logica che sta alla base della maggior efficacia di un avversario o di se stesso. Naturalmente si è nel campo della corretta esecuzione del fondamentale, non della gestione tattico-strategica dell'assalto. Tuttavia l'ausilio di mezzi informatici può anche rendere più gradevole e stimolante quelle sessioni di allenamento costituite - soprattutto inizialmente - dalla ripetizione di movimenti al fine di migliorarne la resa in pedana; ma l'utilità maggiore di queste tecniche consiste soprattutto nel risparmio di tempo didattico che il maestro deve

---

normalmente impiegare per trasmettere all'allievo i principi e le ragioni della corretta esecuzione del gesto tecnico nelle sue diverse sfumature. Disponendo di un ausilio visivo, numerico ed in definitiva metrico, l'allievo sarà messo più facilmente nelle condizioni di capire con rapidità e, forse, anche di appassionarsi maggiormente agli aspetti più tecnici dei dettagli della disciplina, spesso altrimenti vissuti con un senso di noia, specie quando il principiante si trova ad essere in età già adulta. Si può inoltre ritenere piuttosto plausibile che l'utilizzo di tecnologie avanzate applicate all'allenamento, anche solo sporadicamente ma in modo ben visibile, possa contribuire in modo significativo a migliorare l'immagine della scherma, introducendola in una dimensione più moderna ed accattivante. La scherma infatti, per le caratteristiche di continuità del rapporto allievo- maestro, oltre che per le caratteristiche insite nella natura stessa della disciplina, si presta notevolmente meglio di altri sport all'applicazione di tecniche che restano comunque complesse e richiedono, per essere sviluppate utilmente, un ambiente adeguato: possiamo pensare che la sala di scherma assolvano a questo requisito, poiché in genere già vi lavorano maestri che abitualmente impostano il loro lavoro sulla ripetizione del gesto tecnico, sulle sessioni di *gambe-scherma* e sull'analisi della correttezza formale della *postura* dell'allievo.



Anche l'atleta **agonista** potrà trarre vantaggio dal confronto della propria performance con quella di atleti che sono più efficaci, valutare meglio in quali fondamentali sia meno abile e quali movimenti possano essere ulteriormente migliorati. La ricerca del limite trova negli strumenti di misurazione oggettiva, quali appunto sono gli strumenti di analisi matematica e statistica computerizzati, una base di partenza non trascurabile. L'obbiettivo diviene visibile, si materializza per l'atleta la possibilità di valutare nel tempo il margine di miglioramento che gli rimane e di scomporre la propria performance in tutti i dettagli che la rendono più o meno vincente. Non si tratta di concepire un metro di misura per l'assalto, laddove le facoltà mentali, tattiche e strategiche non possono facilmente essere misurate, ma semmai di introdurre nell'allenamento una cultura del perfezionamento continuo, quasi estremizzato, di tutte le componenti che costituiscono il gesto atletico.

---

Sarà più facile capire il perché manchi quella certa spinta nell'affondo che il nostro avversario sembra invece possedere, magari perché poggia diversamente il piede posteriore o perché il suo ginocchio anteriore viaggia ad una velocità oggettiva superiore; è virtualmente infinita la gamma di parametri che possono influenzare il movimento nella scherma e ridurne l'efficacia, pertanto l'analisi posturale parametrica non può che rappresentare un valido aiuto, sebbene non completamente risolutivo rispetto all'efficacia globale della performance dello schermitore. In altre parole, se non è possibile, come noto, una misurazione antropometrica delle caratteristiche vincenti dello schermitore, è certamente possibile andare alla ricerca dei fattori biomeccanici limitanti, oppure evidenziare quelli vincenti nel modo di muoversi o più genericamente di stare in pedana di un modello di riferimento. Fluidità e scioltezza del movimento sono generalmente concetti astratti, che debbono essere sentiti dall'allievo: comunemente il maestro procede alla scomposizione del gesto tecnico nei suoi fattori determinanti – nell'*affondo*: precedenza del braccio armato, corretta distensione della gamba posteriore unita al sollevamento del piede anteriore, corretta postura del ginocchio anteriore che deve essere in asse sulla direttrice etc. - e procedendo poi a correggere eventuali errori. L'ausilio di tecniche computerizzate promette di rendere più rapido il **processo di analisi** e di mettere più facilmente in risalto i punti sui quali è necessario intervenire tecnicamente o con una maggiorazione dei carichi di lavoro atletici - ad esempio si può arrivare a scoprire che un affondo troppo lento è determinato da una velocità di spostamento del busto inadeguata, mentre le gambe possono risultare viaggiare alla stessa velocità del modello vincente di riferimento, e pertanto chiedere al preparatore atletico di intervenire specificamente sui muscoli dorsali ed addominali anziché impegnare l'atleta in un lavoro di potenziamento delle gambe. Le possibilità di utilizzo delle tecnologie di analisi sono legate agli obiettivi del tecnico sportivo che intende farne utilizzo, e nel caso specifico del maestro, determinante nello scegliere quali parametri analizzare e quali considerazioni trarre dalla statistica. In definitiva, è naturale ritenere che tale tecnologia nella scherma non può assurgere ad un ruolo di primo piano, poiché non è realistico pensare di poter sostituire l'esperienza del maestro nel valutare situazioni che non sono soltanto considerabili dal punto di vista matematico o visivo; tuttavia si può realmente pensare che questa esperienza possa essere utilmente integrata dall'ingresso della tecnologia nelle consuetudini dell'allenamento dello schermitore.

Un potenziale ostacolo alla diffusione dei sistemi di analisi video nella scherma è la necessità di utilizzare almeno due telecamere per il trasferimento dei dati entro uno spazio virtuale tridimensionale: in realtà la maggior parte dei softwares in commercio permette l'analisi anche in due dimensioni, e considerando il fatto che nella scherma i filmati video vengono meglio realizzati sul piano laterale dell'azione, questo aspetto della tecnologia computerizzata non è fondamentale. Per le applicazioni schermistiche è sufficiente l'utilizzo di una sola telecamera, che riprenda anche in momenti separati i diversi piani dell'azione, quello laterale e quello frontale. I filmati possono provenire da contesti di gara, purché vi siano le condizioni di ripresa necessaria, requisito che è più facilmente raggiungibile nelle competizioni di alto e altissimo livello e meno frequente invece nelle competizioni locali, dove gli spazi sono più limitati e la possibilità di seguire l'azione da una postazione di ripresa video privilegiata è minore. Sembrerebbe più facile applicare questo genere di tecnologia ai contesti di allenamento, laddove vi sono in genere maggiori condizioni di organizzare gli spazi ai fini della migliore qualità della cattura video. Condizioni di luce e nitidezza dell'immagine non sono fondamentali per la buona riuscita dell'applicazione dell'algoritmo di analisi, quindi le discriminanti che in genere definiscono una buona ripresa video possono in parte essere trascurate, purché l'**inquadratura** rimanga stabile - per questo è necessario prevedere l'utilizzo di un cavalletto - e purché l'angolo di ripresa sia lo stesso nel caso si proceda ad effettuare riprese destinate al confronto tra atleti diversi o tra le prestazioni dello stesso atleta a distanza di tempo. Occorre quindi prevedere una postazione di ripresa fissa, facilmente ricavabile all'interno di una sala di scherma nei pressi della pedana meglio attrezzata o in un angolo degli spazi destinati al riscaldamento e alla preparazione atletica. Più difficile è l'applicazione della tecnica al filmato di un assalto, salvo che questo sia ripreso ad una distanza tale da comprendere in campo tutti i metri di pedana coperti dallo schermatore senza necessità di doverlo seguire spostando la telecamera. Inoltre è difficile attuare riprese sul piano frontale in un contesto di gara, poiché non vi sono mai le condizioni necessarie per un angolo di ripresa ottimale, a meno di non prevedere l'utilizzo di microtelecamere (da indossare per esempio sopra la maschera) ancora troppo costose e difficilmente reperibili in commercio.

---

Il secondo passo necessario per l'applicazione dell'analisi computerizzata alla scherma consiste nella definizione di una tabella di **parametri fondamentali** che costituiscano il nucleo di base di ogni studio o ricerca di tale genere e dai quali si possano poi sviluppare tutti gli approfondimenti e gli ulteriori sviluppi di ricerca possibili. Sarà necessario inserire tra di essi almeno i seguenti fondamentali tecnici:

- *passo avanti* (anche incrociando)
- *passo indietro* (anche incrociando)
- *affondo*
- *ripresa d'affondo*
- *flèche*
- *balzo avanti nella sciabola* (sostitutivo della flèche)
- *parate semplici*

Per quanto concerne la valutazione della postura bisognerà considerare almeno:

- *guardia*
- *inviti e ricerche del ferro*
- *linea*

Sempre tra i fondamentali si potranno annoverare, a titolo di esempio, alcune tipologie di colpi:

- *fuetto alla schiena o alla spalla*, sul piano verticale
- *fuetto al fianco o alla schiena*, sul piano orizzontale
- *colpi a "stantuffo"*, nel fioretto
- *traversone*, nella sciabola

In realtà, come si è detto, questa è solo una selezione dei fondamentali che un'analisi biomeccanica applicata alla scherma non potrebbe mai trascurare, ma virtualmente tutti gli spostamenti e le diverse tipologie di traslazioni in pedana potrebbero essere considerati allo stesso modo imprescindibili per un'analisi completa, così come tutti i diversi colpi di risposta realizzabili a partire da ciascuna parata. Ad esempio, dalla parata di quarta:

- 
- *colpo al distacco, portato*
  - *colpo al distacco, fuetto alla spalla*
  - *colpo al distacco, fuetto al fianco*
  - *colpo al distacco, fuetto al bersaglio interno*
  - *filo alto al bersaglio interno o al braccio (spada)*
  - *fianconata esterna, fianconata di seconda*
  - *traversone (sciabola)*

Nell'ambito di ciascun fondamentale sarà necessario poi definire i **sottosistemi** da analizzare, normalmente generalizzabili nelle diverse parti del corpo che concorrono all'esecuzione del gesto tecnico o di una determinata postura. Per ciascun fondamentale sono individuabili almeno tre sottosistemi principali, relativi a:

- *braccio armato*
- *gambe*
- *busto*

Ciascun sottosistema potrà essere ulteriormente scomposto; ad esempio nel passo avanti, nell'ambito del sottosistema "gambe", si prenderanno in considerazione gli spostamenti delle seguenti parti del corpo:

- *piede anteriore*
- *articolazione (ginocchio) della gamba d'attacco*
- *piede posteriore*
- *articolazione (ginocchio) della gamba posteriore*
- *coscia (quadricipite) della gamba d'attacco*
- *coscia (quadricipite) della gamba posteriore*

Sarà possibile poi scomporre ancora le diverse parti in analisi, scendendo sempre di più nel dettaglio; ad esempio:

- *piede anteriore*
  - o tallone (tarso)
  - o avampiede (falangi)
  - o articolazione con la gamba (condili ulna e radio)

---

Si procederà infine con il definire i **parametri** da valutare per ciascun punto precedentemente individuato sul corpo umano, scegliendo i valori più significativi e meglio indicativi della corretta esecuzione del gesto atletico; ad esempio:

- *piede anteriore*
  - o per il tallone e l'avampiede
    - velocità lineare
    - vettore/i direzionale/i
    - accelerazione
  - o per l' articolazione
    - angolo di torsione/rotazione
    - velocità di torsione/rotazione
    - direzione di torsione/rotazione
  
- *braccio armato*
  - o per il polso
    - angolo di torsione/rotazione
    - velocità di torsione/rotazione
    - direzione di torsione/rotazione
  - o per l'avambraccio
    - velocità lineare all'estremità dello scafoide e della testa dell'ulna
    - vettore/i direzionale/i alle due estremità dell'ulna
    - accelerazione alle due estremità dell'ulna
  - o *per il gomito*
    - velocità lineare
    - vettore/i direzionale/i
    - accelerazione
    - angolo di torsione/rotazione dell'ulna
    - velocità di torsione/rotazione dell'ulna
    - direzione di torsione
  - o *per il braccio*
    - velocità lineare alla testa dell'omero e al condilo dell'ulna
    - vettore/i direzionale/i alla estremità distale dell'omero
    - accelerazione all'estremità distale dell'omero

---

Una volta raccolti i dati per ciascuno di questi parametri e per ciascuno degli atleti da considerare per un confronto, si procederà alla loro visualizzazione in forma grafica, sia nella simulazione tridimensionale sia nei grafici costruiti dal software. I dati possono essere esportati in un foglio elettronico ed elaborati in modi diversi, conservati per futuri confronti o per l'osservazione del progresso dell'atleta.

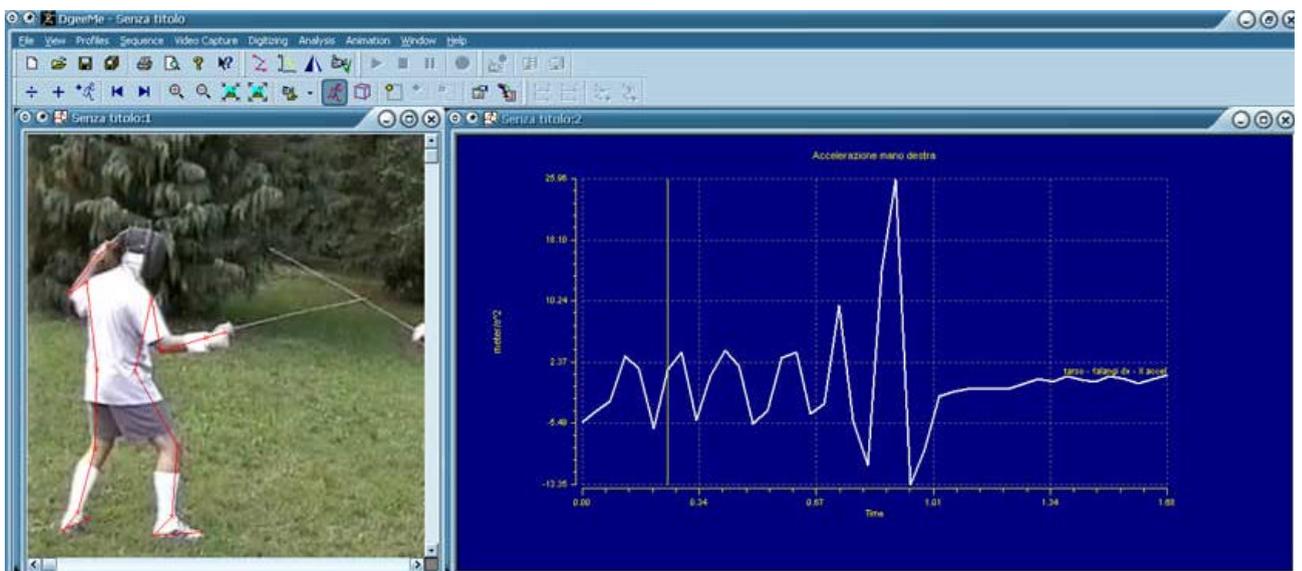
La fase finale del processo di analisi è la più difficile: il tecnico deve **trarre le conclusioni** necessarie a partire dai dati che possiede, compito nel quale il computer non può formulare ipotesi. E' l'esperienza soggettiva del maestro che deve saper valutare i dati, dandone ragione delle cause ed individuandone gli effetti sulla prestazione. Conoscere la velocità di spostamento delle diverse parti del corpo permette facilmente di individuare in quali distretti corporei si localizzano maggiormente eventuali impedimenti all'esecuzione di una *performance* perfetta e può essere pertanto facile ritenere utile il potenziamento muscolare di tali distretti o l'organizzare degli esercizi utili a migliorarne la destrezza; tuttavia il lavoro di analisi non è e non potrebbe mai essere così scontato e richiede invece proprio il ricorso all'esperienza maturata con i metodi tradizionali di osservazione della prestazione. In questo senso i dati forniti dal computer non possono essere considerati più che una conferma a ciò che il maestro riuscirebbe a percepire, magari meno dettagliatamente, dall'osservazione del suo atleta impegnato in pedana o in un allenamento.

La grande utilità del metodo computerizzato di analisi del movimento risiede piuttosto, come si è già detto, nel fornire un riscontro oggettivo alle considerazioni scaturite dall'osservazione del maestro ed una base per ulteriori indagini da svolgersi secondo i metodi più abituali per ciascun tecnico. Può essere sorprendente il numero di informazioni che si ricavano dall'analisi computerizzata della prestazione sportiva e, talvolta, non è raro che particolari della *performance* di un atleta che possono sfuggire all'occhio non sfuggano invece alla registrazione computerizzata. Sta alla duttilità del maestro di saper indagare le cause che determinano la prestazione eccellente rispetto a quella mediocre, ma un ricorso ad un'analisi dettagliata del movimento del corpo non può che essere un aiuto, per quanto magari non fondamentale, certamente non trascurabile.

## esempi pratici

Alcuni *case-studies* di esempi pratici possono chiarire meglio le possibili applicazioni dell'analisi computerizzata in campo schermistico. Tutti gli esempi di seguito presentati sono stati realizzati usando una videotelecamera amatoriale del tipo *handycam*, senza tripode di supporto e collegata con interfaccia *IEEE.1394* ad un computer portatile di fascia medio-alta; il software per l'acquisizione video che è stato usato è compreso in un diffusissimo pacchetto per la masterizzazione, - sebbene anche gli strumenti standard di *Windows XP* potevano considerarsi sufficienti - mentre il software di analisi biomeccanica è stato scelto tra i numerosi *freeware* a disposizione. Per migliorare la resa dei contorni dell'immagine e facilitare la fase di individuazione dei diversi distretti corporei al momento della digitalizzazione, si sarebbero potuti anche utilizzare i *markers sferoidali* normalmente impiegati nel tipo *motion capture* cinematografico e fissati sui punti chiave del corpo per renderli più facilmente riconoscibili; parimenti è possibile impiegare un sistema di piccole palline colorate legate con laccetti (ad esempio al gomito, al ginocchio etc.).

**Caso 1** – valutazione della velocità lineare verticale impressa alla mano armata nell'esecuzione del colpo di *coupé*



■ Figura 13 - grafico della velocità della mano sul piano v

Si nota che la velocità ha un picco verticale nel momento dell'esecuzione del *coupé*. Interessante analizzare soprattutto la fase di ripresa dell'accelerazione dopo lo svincolo del ferro dal legamento dell'avversario – rappresentata nel grafico dalla V finale nella linea spezzata che identifica la velocità sul piano verticale -. Più la V è stretta, maggiore sarà la velocità espressa e più rapida sarà stata l'esecuzione del colpo dopo lo svincolo da parte dell'atleta.

**Caso 2** – valutazione dell'accelerazione angolare impressa al polso nell'esecuzione del colpo di *coupé*

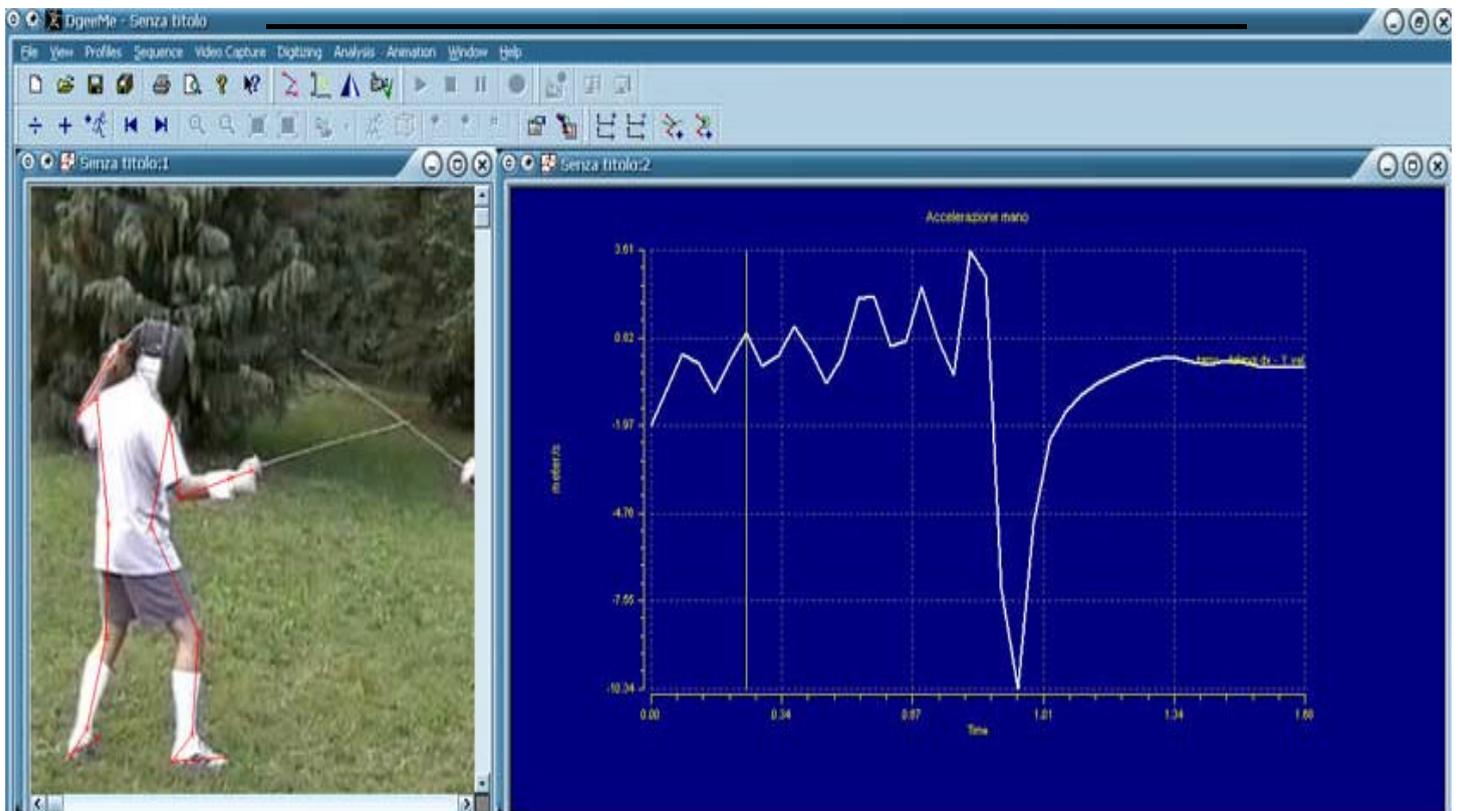


L'esecuzione corretta del *coupé* richiede che la mano sia angolata senza sbandamenti e con un'accelerazione progressiva del polso sul piano verticale. Nel caso riportato dal grafico l'atleta esegue correttamente la prima fase del movimento, ma risulta lento nella fase di discesa che precede il colpo - l'intervallo tra gli ultimi due picchi è una linea orizzontale piuttosto lunga -, inoltre non risulta molto deciso nel portare il colpo, poiché dal grafico si rivela una fase di assestamento della velocità sul piano verticale appena prima dell'impatto della punta sul bersaglio.

---

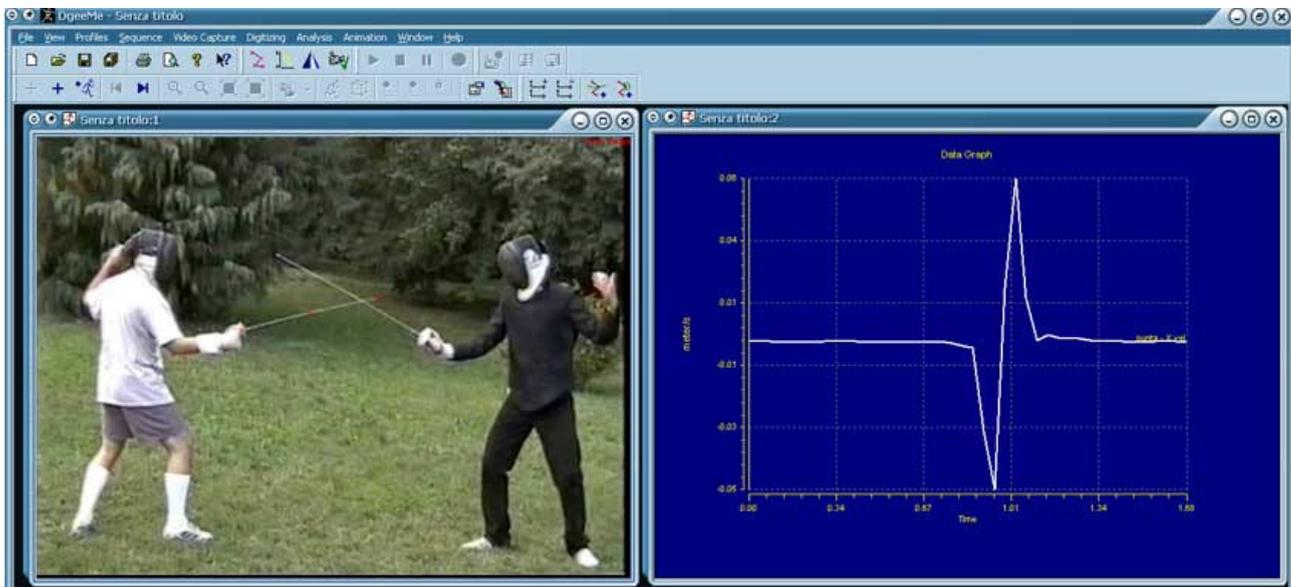
**Caso 3** – valutazione dell'accelerazione verticale impressa al polso nell'esecuzione del colpo di *coupé*

Si è qui valutata l'accelerazione sul piano verticale impressa al polso (scafoide) nell'esecuzione del *coupé*. Si nota la progressiva accelerazione fino al momento del picco negativo, che rappresenta il momento in cui il ferro viene messo in linea dopo lo svincolo; successivamente il grafico dimostra che vi è una ripresa dell'accelerazione verticale sino ad un valore costante, sintomo del fatto che il colpo è stato tirato correttamente con una minima angolazione del polso verso l'alto (coccia leggermente più alta della punta per permettere una corretta flessione del ferro al momento dell'impatto).

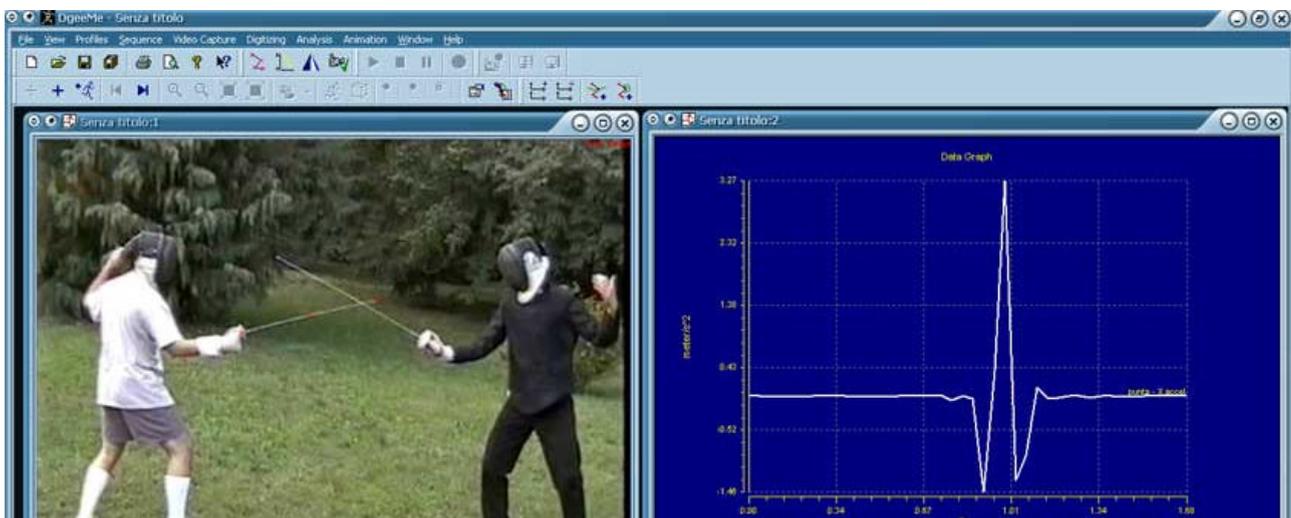


■ Figura 15 - grafico dell'accelerazione verticale del polso

**Caso 4** – valutazione della velocità lineare e dell'accelerazione (piano orizzontale e verticale) della punta del fioretto nell'esecuzione del colpo di *coupé*

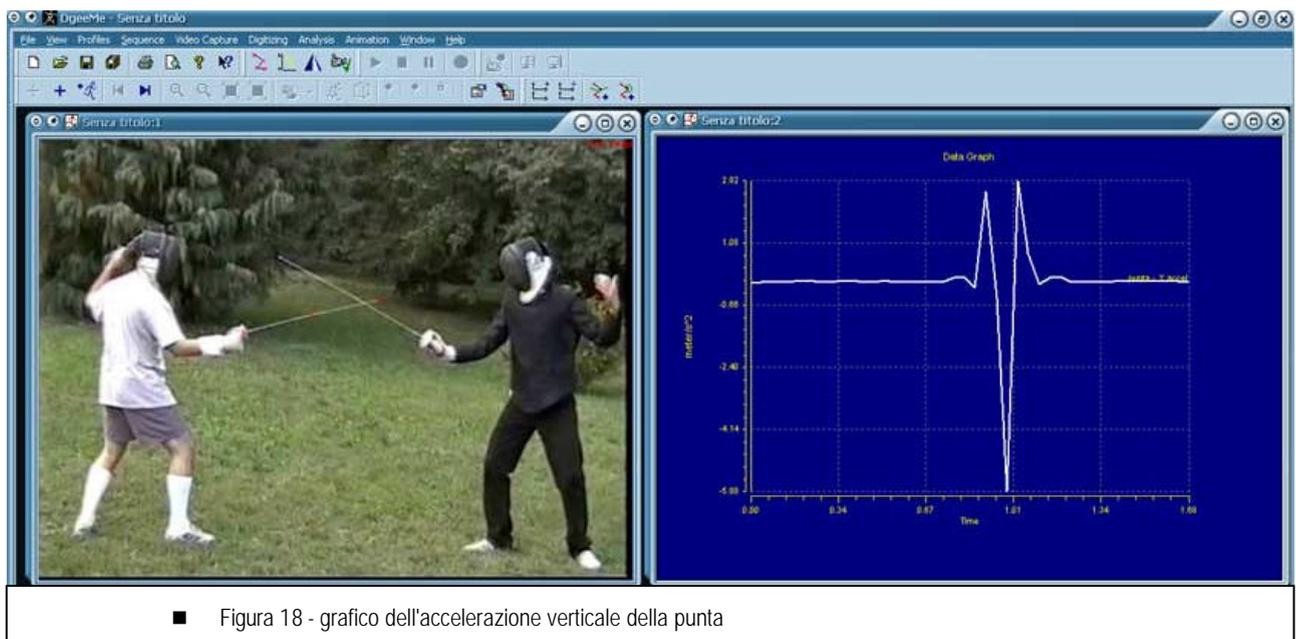


■ Figura 16 - grafico della velocità della punta sull'asse x del piano orizzontale



■ Figura 17 - grafico dell'accelerazione orizzontale della punta

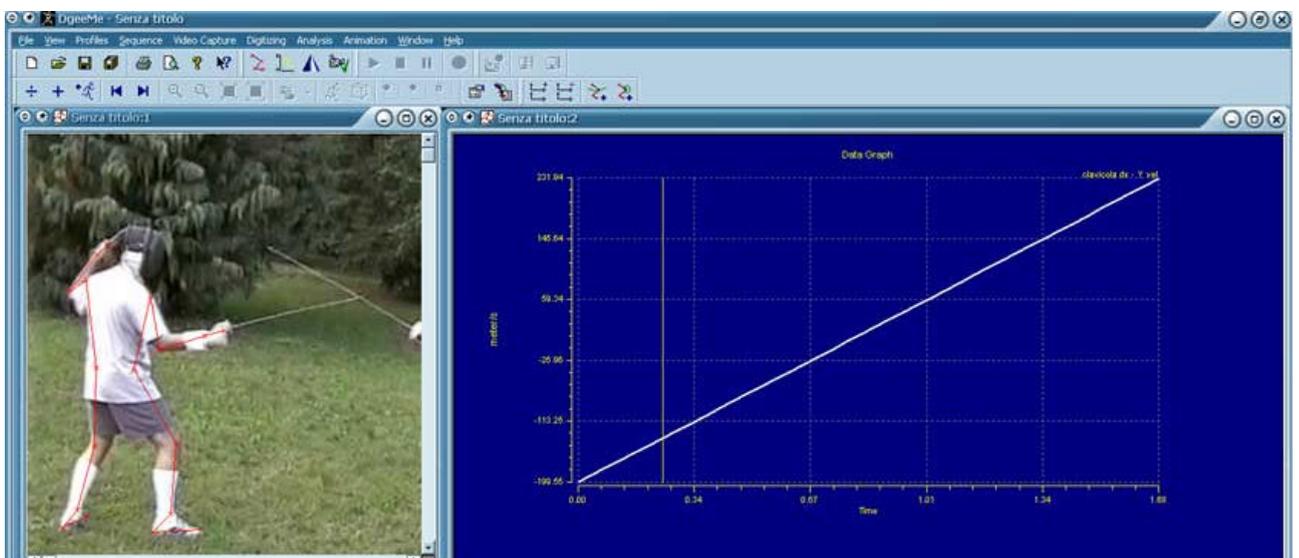
In questo caso è stato creato un profilo di analisi specifico per valutare le variabili fisiche che agiscono sull'arma. Del fioretto sono stati considerati come sottosistemi da analizzare la punta, il punto medio del segmento che rappresenta la parte debole, il punto medio del segmento che rappresenta la parte media e il punto medio della parte forte; inoltre si è assegnato un *mark* per l'analisi anche alla coccia, in corrispondenza del tallone della lama ed un *mark* al punto che rappresentava il baricentro specifico dell'arma in uso, calcolato con il sistema empirico delle quattro dita in corrispondenza della parte forte – questo permette il confronto dell'efficienza di diversi tipi di fioretto.



**Caso 5** – valutazione della velocità sul piano verticale della clavicola del braccio armato nell'esecuzione dell'affondo

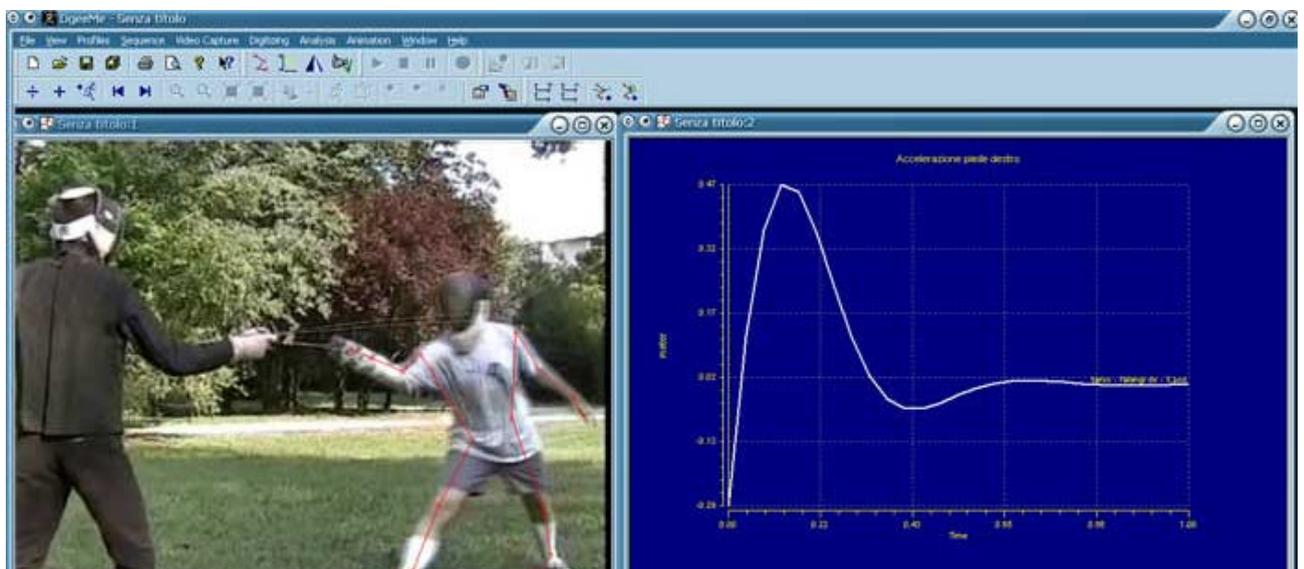
La clavicola è un punto rappresentativo della corretta esecuzione dell'affondo: viaggia a velocità crescente, con un'accelerazione costante, solo se le gambe eseguono correttamente e il movimento - fornendo una spinta continua - ed il braccio è già correttamente disteso al momento della fase iniziale del movimento.

Il grafico rappresenta la velocità esponenziale sul piano verticale, rappresentativa del movimento di distensione del braccio, con una leggera inclinazione del busto in avanti e l'alzarsi del piede anteriore per permettere la spinta della gamba posteriore.



■ Figura 19 - velocità verticale della clavicola del braccio armato

**Caso 6** – valutazione della velocità del piede anteriore nell'esecuzione dell'affondo

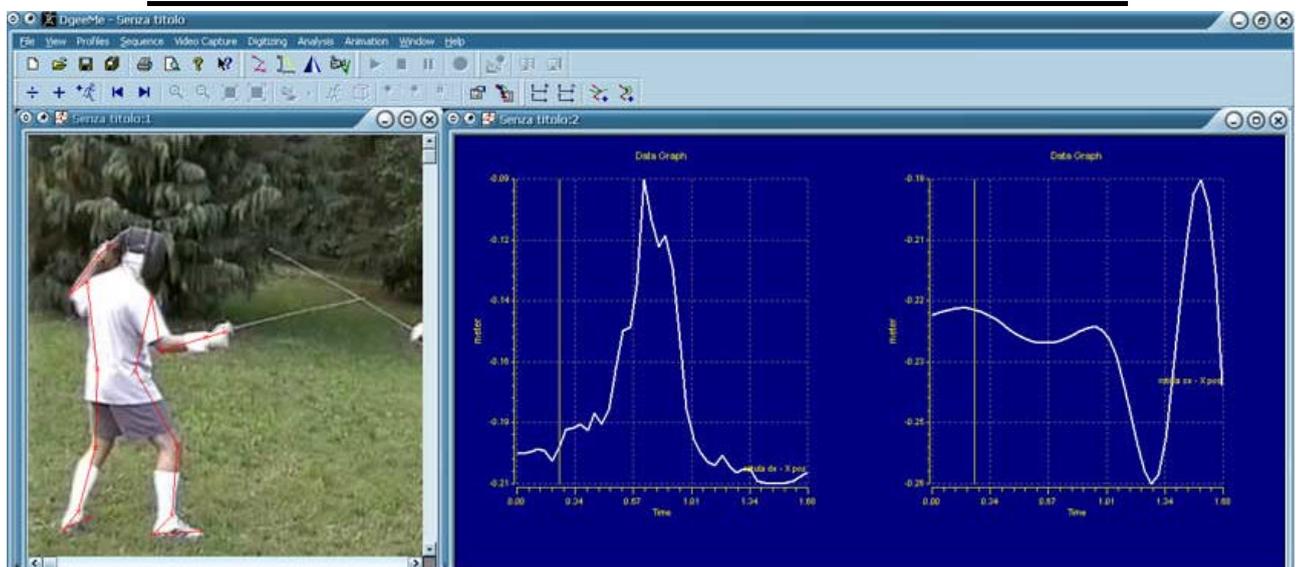


■ Figura 20 - grafico della velocità del piede sul piano verticale

Il grafico rappresenta la velocità sul piano verticale del piede d'attacco (destro) nel momento dell'esecuzione dell'affondo: dopo un picco iniziale dovuto al sollevarsi della pianta del piede, con la spinta della gamba posteriore, la linea del grafico mostra una velocità costante, dovuta all'azione di distensione della gamba sinistra, con una leggera indecisione nella fase di volo (la U al centro del grafico, che corrisponde ad una eccessiva sospensione del piede). L'atleta analizzato ha poi eseguito un perfetto atterraggio del piede, appoggiandolo a terra senza bruschi picchi di velocità alla fine del movimento di affondo. L'analisi potrebbe essere anche eseguita nelle tre dimensioni, valutando il piano x, y e z.

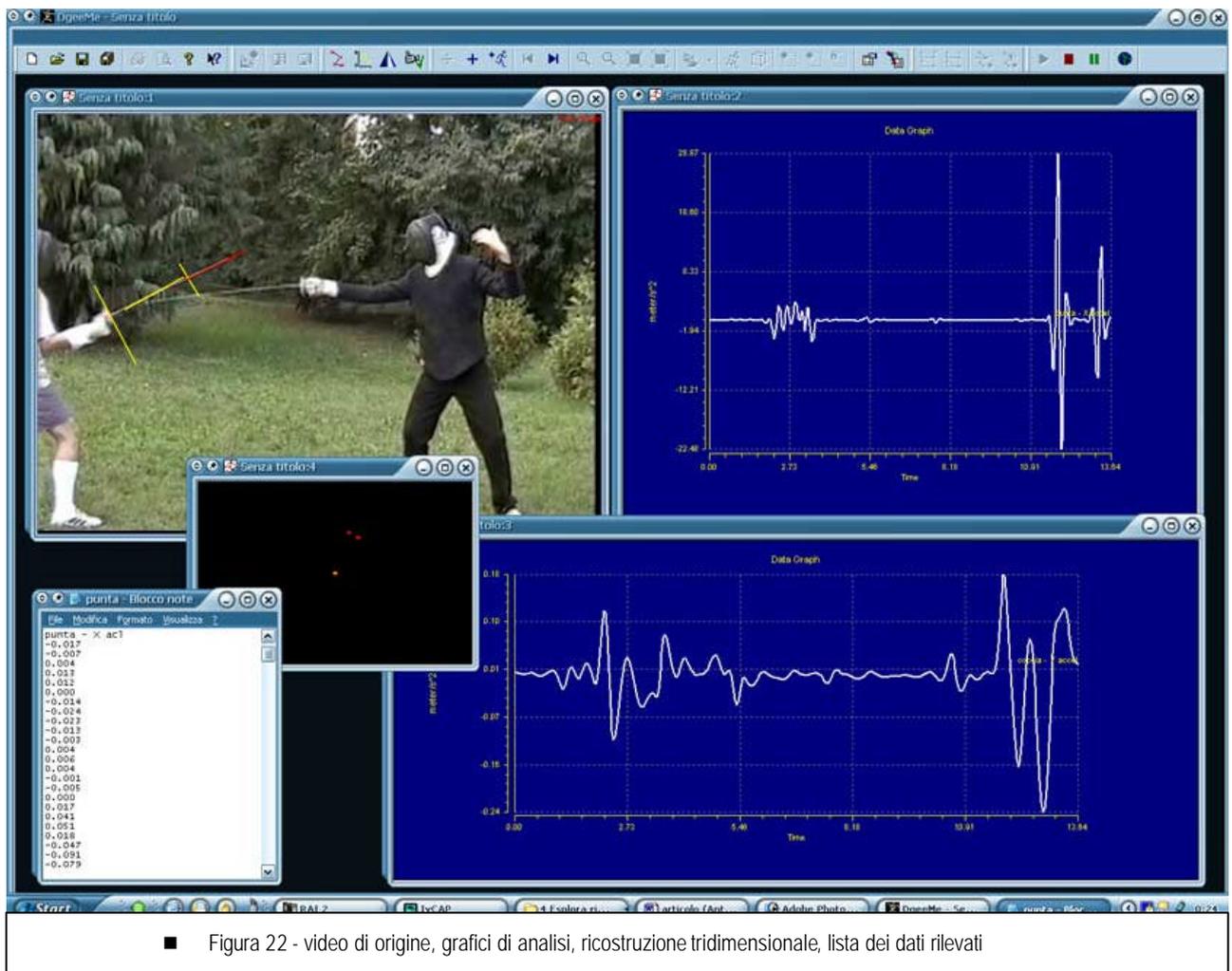
**Caso 7** – valutazione della posizione delle gambe nel movimento di affondo

Nel grafico della gamba anteriore (a sinistra) si nota lo spostamento massimo della gamba, misurato alla rotula del ginocchio, in corrispondenza del picco della linea che identifica la massima spinta in avanti raggiunta dall'atleta; dopo il picco, la caduta della linea rappresenta la fase della spinta eccentrica dopo l'atterraggio al termine del movimento di affondo. Il grafico della gamba posteriore (destra) visualizza uno scorretto trascinato del piede (il picco negativo a forma di U) nel corso dell'affondo e un troppo precoce ritorno in guardia (picco a U rovesciata all'estrema destra del grafico).



■ Figura 21 - grafici della velocità per la gamba anteriore e posteriore

**Caso 8** – analisi della accelerazione della lama nell'esecuzione della battuta di passaggio di quarta



All'inizio della linea del primo grafico, si osserva l'accelerazione della lama sul piano orizzontale al momento dell'esecuzione della battuta: i segmenti della linea spezzata sono dovuti alle oscillazioni della punta dopo l'impatto tra i ferri e la loro frequenza e brevità dimostra che la battuta è stata eseguita correttamente con un movimento non troppo largo; nella parte centrale del grafico si osserva un'accelerazione costante sino al finire della linea che mostra la fase di impatto con il bersaglio e i picchi dovuti alla flessibilità della lama (che può quindi essere misurata empiricamente). Il secondo grafico mostra invece l'accelerazione sul piano verticale: il movimento dell'atleta è stretto

---

all'inizio, si allarga leggermente al momento dell'esecuzione del passaggio ferro, torna costante e lineare fino al momento dell'impatto della lama con il bersaglio, con i relativi picchi dovuti alla flessibilità.

Tutti gli esempi riportati sono stati analizzati solo dal punto di vista dell'analisi formale dei grafici del movimento, ma naturalmente è possibile ricavarne dati matematici circa tutte le variabili descritte – ad esempio si potrebbe voler sapere a quanti  $m/s^2$  viaggia la punta del fioretto o il gomito dello schermitore. Ovviamente i dati possono essere visualizzati in forma di lista delle rilevazioni numeriche, ed esportati per la creazione di grafici con altri softwares specifici. E' anche possibili richiedere al programma una ricostruzione tridimensionale, che mostra i segmenti ed i punti di interconnessione, corrispondenti ai diversi distretti del corpo umano, e produce un'animazione video che visualizza il movimento in forma semplificata. Le possibilità di utilizzo dell'analisi biomeccanica del movimento applicata alla scherma sono, come si è visto, molteplici e ulteriori studi devono servire a stabilire uno standard nella scelta e nelle modalità di utilizzo degli strumenti.

---

## riferimenti bibliografici

Segue una breve rassegna bibliografica delle pubblicazioni, tutte in lingua inglese, utili all'approfondimento dei concetti relativi all'analisi biomeccanica del movimento applicata allo sport ed alla sua informatizzazione

*Biomechanical Basis of Human Movement* di Joseph Hamill, Kathleen M. Knutzen

*Biomechanics: A Qualitative Approach for Studying Human Movement* di Ellen Kreighbaum, Katharine M. Barthels, Katherine Barthels

*Biomechanics and Motor Control of Human Movement* di David A. Winter

*Biomechanics of Sport* di Christopher Vaughan

*Biomechanics of the Musculo-Skeletal System*, di Benno M. Nigg, Walter Herzog

*Introduction to Sports Biomechanics* di Roger Bartlett

*Kinesiology of Exercise : A Safe and Effective Way to Improve Athletic Performance* di Michael Yessis. Paperback (June 1995)

*Mechanics of Sport : A Practitioner's Guide* di Gerald A. Carr, Gerry Carr

*Principles of Sport Biomechanics* di Joe D. Bell

*The Biomechanics of Sports Techniques*, di James G. Hay

*Three-Dimensional Analysis of Human Movement* di Paul Allard , Ian A.F. Stokes, Jean-Pierre Blanchi



note

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----