

# Storia della bioingegneria

## Storia della biomeccanica nello sport

professor Renato Rodano

### Le origini della biomeccanica

Secondo una definizione largamente condivisa, la biomeccanica è la scienza multidisciplinare che studia strutture e funzioni dei sistemi biologici utilizzando le conoscenze e i metodi della meccanica.

L'aspetto multidisciplinare è ben noto al bioingegnere che, ogni qual volta affronta un problema di biomeccanica, per applicare i suoi strumenti metodologici e tecnologici, deve fare continuo riferimento alle conoscenze di biologia, medicina, cinesiologia, scienza della salute ecc.

Il movimento dell'uomo nelle sue molteplici espressioni è uno dei campi di studio di questa relativamente giovane scienza. Non si deve dimenticare però che, sin dall'antichità, pensatori eccellenti si sono interessati agli stessi fenomeni. Un esempio eccellente lo fornisce Aristotele (384-322 a.C.) che se ne occupa in termini filosofici, nei libri 3-7 della "Phisica" e nel "De incesso animalium".

Galeno (131-201) grazie al ruolo di medico dei gladiatori, è forse il primo esempio di medico dello sport, ed applicò la sua esperienza alla conoscenza del corpo umano e del movimento.

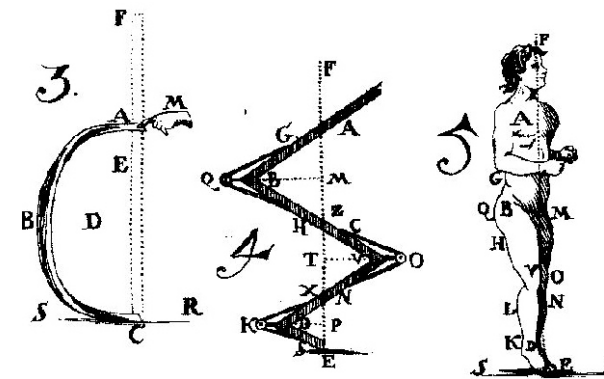
Anche Leonardo da Vinci (1452-1519) si interessò ai movimenti dell'uomo cercando di analizzarli secondo le

leggi della meccanica di cui scrisse: "...è scienza nobile ed è utile più delle altre scienze e, come risulta, tutti i corpi viventi hanno possibilità di movimento e agiscono secondo le sue leggi". Nel suo trattato sulla pittura, evidenziò l'inadeguatezza della capacità umana di saper osservare al fine di ricostruire esattamente la posizione del corpo umano durante il movimento.

Vesalius (1514-1564) affinò le sue doti di eccelso anatomista, grazie alla dissezione di un numero adeguato di cadaveri gettando così le basi della moderna anatomia e confutando alcune erronee affermazioni di Galeno, la cui fonte di studio furono soprattutto animali.

Un fase fondamentale di evoluzione si verificò nel 17° secolo con la rivoluzione scientifica. Ad essa contribuirono nomi eccellenti quali Galileo Galilei (1564-1642), Giovanni Keplero (1571-1630), René Cartesio (1596-1650) e Isacco Newton (1642-1727). Va detto che il contributo di Newton è stato fondamentale grazie alle tre leggi di moto e, nonostante Einstein abbia cambiato la visione dell'universo, l'odierna biomeccanica del corpo umano è sostanzialmente Newtoniana.

Francesco Antonio Alonso Borelli (1608-1680), fisiologo e fisico napoletano discepolo di Galilei, diede alle stampe il "De motu animalium". Lo scopo di questo libro fu duplice: in primo luogo dimostrare le premesse per la descrizione di attività motorie complesse quali la deambulazione, il salto, la corsa, il volo e il nuoto; in



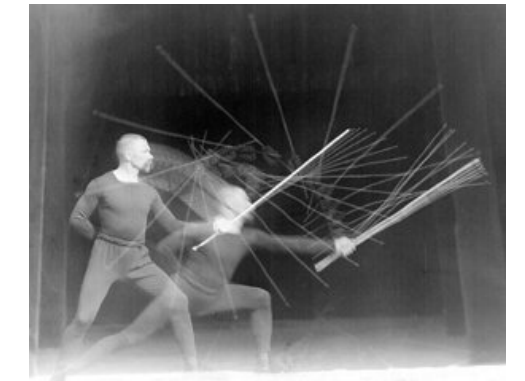
Particolare della tavola XII del De Motu Animalium di Borelli

secondo luogo utilizzare le nuove conoscenze per condurre analisi speculative sulla natura e le funzioni dei muscoli. Pur affrontando i soli aspetti statici, l'autore manifestò la grande capacità di comprendere l'anatomia umana e di relazionarla a corrette applicazioni delle conoscenze della matematica, della geometria e della meccanica nota.

Anche Cartesio affrontò problematiche biomeccaniche. Nel suo "Trattato dell'uomo" affrontò il problema del movimento dei visceri attraverso l'applicazione di leggi fisico-matematiche.

Solo nel XIX e XX secolo la biomeccanica ha assunto contorni ben definiti, sviluppando le prime analisi basate su osservazioni sperimentali quantitative.

Una figura importante in questo panorama è rappresentata da Etienne-Jules Marey (1830-1904), che diede un contributo fondamentale allo sviluppo di strumentazioni per il rilievo di grandezze cinematiche e dinamiche. Il fucile fotografico, la cromofotografia, la calzatura esplorativa e una pedana dinamometrica idraulica furono alcune delle sue invenzioni più importanti. Marey per primo usò le grandezze misurate per il calcolo del lavoro meccanico associato ad un determinato movimento. Notevole fu anche il suo interesse per lo sport, documentato da lastre fotografiche in cui è stata immortalata l'evoluzione della corsa, dei salti e della scherma.



Crono fotografia di un movimento di scherma eseguito con bastone di E.J. Marey

Il riconoscimento della paternità del moderno approccio matematico allo studio del movimento umano va, senza alcun dubbio, ai tedeschi Wilhelm Braune e Otto Fischer. L'accurata analisi matematica condotta da Braune, integrata dai dati sperimentali di Fischer ottenuti "vestendo" un soggetto con sottili tubi illuminati da una bobina di Ruhmkorff, permise il calcolo delle coordinate tridimensionali dei segmenti corporei durante il cammino. Dati antropometrici, ricavati da cadaveri congelati, furono utilizzati per la determinazione delle coordinate del baricentro dei segmenti e dei relativi momenti di inerzia. A questo punto gli studiosi furono in grado di descrivere il cammino in termini di moto del baricentro, di forze effettive inerziali che si sommano al peso corporeo e, conseguentemente, di calcolare la reazione al terreno.

Anche se non si tratta di uno scienziato, bensì di un fotografo, non è possibile trascurare il contributo di Muybridge (1830-1904). Questo inglese emigrato negli Stati Uniti, è famoso per le sue tavole fotografiche, il cui fascino ancora oggi rimane inalterato. Le sue tavole fotografiche documentano "la cinematica" di molti dei gesti della vita quotidiana, tra cui la corsa e i salti.

Hill (1886-1977) ed il suo allievo

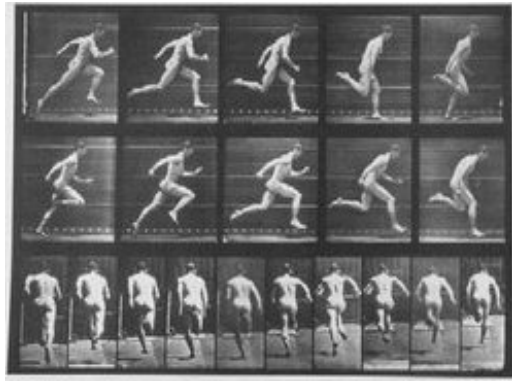


Tavola fotografica della corsa di Eadweard J. Muybridge

Fenn, grandi fisiologi di inizio secolo, oltre che affrontare le problematiche legate alla produzione di tensione da parte del muscolo scheletrico, aprirono la strada per la stima del consumo energetico attraverso l'analisi cinematica del movimento dei diversi segmenti corporei. A cavallo del 1940, Helftman contribuì alla crescita della biomeccanica arrivando a determinare, attraverso analisi cinematiche, che i muscoli agiscono sul sistema scheletrico regolando gli scambi energetici attraverso la trasmissione, l'assorbimento, la produzione e la dissipazione di energia. Egli comprese e descrisse l'importante funzione di ottimizzazione svolta dai muscoli biarticolari. Va anche sottolineato che Helftman fu in grado di dare una rappresentazione vettoriale della reazione al terreno, di calcolare i momenti meccanici articolari e la velocità di allungamento di alcuni muscoli dell'arto inferiore. A questo studioso si devono importanti pubblicazioni sul cammino e sulla corsa.

Nello stesso periodo le ricerche emergenti dalla scuola russa di Secenov (1829-1905) e Pavlov (1849-1936) trovarono in Nikolaj Bernstein (1896-1966) un proselite in grado di esprimere lavori fondamentali in ambito

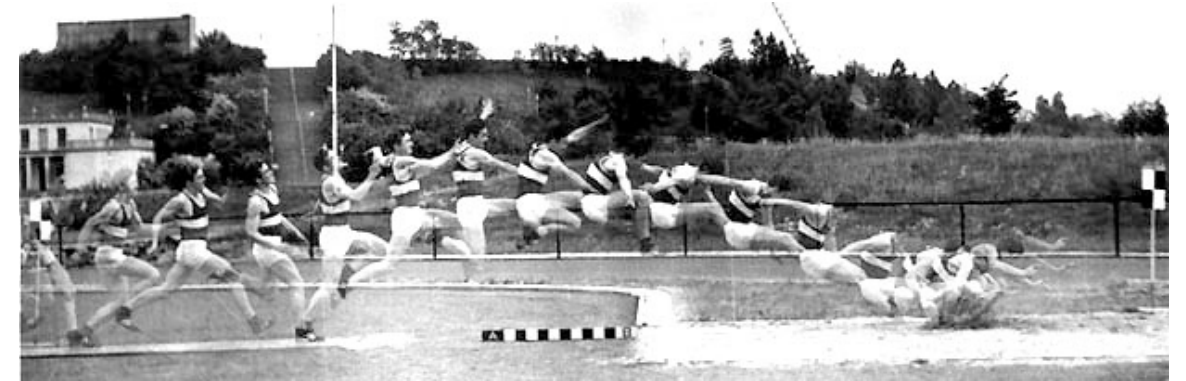
biomeccanico, fisiologico, psicologico e biocibernetico. Egli iniziò la propria attività presso l'Istituto Centrale del Lavoro di Mosca nel 1921. Tra i molteplici campi di indagine affrontati meritano di essere citati: il cammino, alcune attività sportive (corsa, salto, nuoto, ginnastica, ...), lo svolgimento di compiti lavorativi (trasporto di carichi nelle donne, ...), la protezione nel lavoro, le protesi per amputati.

Uno studio commissionato nel 1947 dal National Council of U.S. on Artificial Limbs, Veterans Administration & Surgeon General of U.S. Army al College of Engineering dell'Università di Berkeley fu origine della nascita della "Scuola Californiana". Sotto la direzione di Eberhart, Inmann produsse fondamentali risultati sulle rotazioni dei segmenti corporei durante la locomozione, sull'attività e sui pattern motori dei muscoli dell'arto inferiore e sui carichi gravanti sulle strutture di sostegno di protesi per amputati. Di fatto questo fu il primo passo che ha portato allo sviluppo delle protesi altamente tecnologizzate che, ai nostri giorni, permettono agli amputati di ottenere performance di livello comparabile a quello degli atleti normodotati.

#### Gli albori della biomeccanica dello sport

La biomeccanica applicata alle problematiche dello sport si manifesta in modo specifico e strutturato alla fine degli anni '50. Tra i suoi capostipiti più importanti si annoverano: Vladimir Zatzjorki che iniziò la sua attività all'Istituto Centrale di Educazione Fisica di Mosca, Gerhald Hochmut e il suo allievo Gert Marhold che operarono presso l'Istituto di Biomeccanica di Lipsia nella ex DDR. Un'interessante raccolta degli strumenti di misura realizzati da Hochmut e Marhold è esposta allo Sportmuseum di Lipsia.

Nel 1967 Richard Nelson fondava alla Penn State University (USA) un laboratorio di biomeccanica, i cui obiettivi erano fortemente orientati verso la prevenzione degli infortuni nello sport.



Crono-ciclogramma, secondo Hochmuth (1960)

Questi studiosi svolsero anche un'intensa attività di applicazione delle conoscenze biomeccaniche alla programmazione dell'allenamento e al miglioramento della tecnica, nell'ambito delle relative compagini olimpiche.

#### La biomeccanica dello sport in Italia

In Italia, un ruolo importante nella biomeccanica dello sport spetta al fisiologo Rodolfo Margaria che produsse importanti risultati nell'ambito della fisiologia e della meccanica applicata al movimento e, in particolare, della corsa.

Sull'onda dei giochi Olimpici di Roma, nel 1965 il CONI dette vita all'Istituto di Medicina dello Sport del CONI. Sotto la guida di Antonio Venerando, presso il reparto di Valutazione Funzionale dell'atleta operò Antonio Dal Monte, sviluppando ergometri specifici per le diverse discipline sportive. Tali strumenti furono poi ampiamente utilizzati a supporto delle attività tecniche delle Federazioni Sportive Nazionali.

Nel 1976, nacque a Milano il Centro di Bioingegneria (Politecnico di Milano-Fondazione Don Gnocchi) in cui il gruppo di lavoro di Antonio Pedotti iniziò ad affrontare le problematiche della biomeccanica dello sport. La caratterizzazione innovativa di questa realtà consistette nell'approccio bioingegneristico e multifattoriale allo studio delle variabili

cinematiche, cinetiche ed elettromiografiche caratterizzanti molteplici sport.

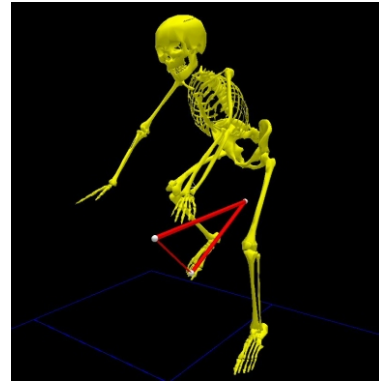
#### L'oggi

Ai nostri giorni, le risorse strumentali, metodologiche e culturali per la biomeccanica dello sport si sono moltiplicate in modo esponenziale. Ne sono testimonianza parecchie riviste scientifiche specializzate e società scientifiche come l'ISB (International Society of Biomechanics) e l'ISBS (International Society of Biomechanics in Sports) che aggregano, con i loro congressi, forum e giornali i ricercatori di tutto il mondo.

Questo movimento è certamente in continuo progresso, ma, a mio parere, ancora lontano dall'aver raggiunto il fondamentale obiettivo di "superare il gap tra biomeccanici e operatori di campo".

#### La biomeccanica del calcio

La biomeccanica è stata applicata con una certa continuità anche al gioco del calcio. I campi di studio su cui si sono concentrati i diversi ricercatori sono stati principalmente tre:



Soggetto con marcatori per analisi optoelettronica della pedalata, rappresentazione virtuale 3D del movimento (il triangolo rappresenta la bicicletta)

1. la qualità tecnica di prestazioni specifiche;
2. gli attrezzi e le superfici di gioco;
3. i meccanismi che innescano infortuni.

Il gesto tecnico più studiato è indubbiamente la calciata. Benché esistano moltissime tipologie di esecuzione, i calci di un pallone stazionario, da fermo o con rincorsa, sono praticamente le uniche modalità analizzate. Tackle, partenza, passaggio, stop, cambi di direzione non sono mai stati investigati con studi biomeccanici dettagliati. Inoltre, soltanto negli ultimissimi tempi sono stati pubblicati lavori che considerino la tridimensionalità del movimento, e ciò è stato reso possibile dalle nuove generazioni di sistemi per l'analisi del movimento.

La calzatura, la palla, le superfici di gioco naturali o artificiali e i parastinchi sono gli attrezzi che hanno usufruito di utili migliorie grazie a studi biomeccanici. Sfortunatamente, la maggior parte della conoscenza non è facilmente reperibile, poiché molti di questi studi sono stati condotti dalle aziende del settore che tendono a mantenere i risultati segreti per ovvi motivi commerciali.

Gli infortuni degli atleti, escludendo

quasi completamente quelli dovuti al contrasto fisico, sono strettamente collegati all'interazione atleta-attrezzo. Se la caratterizzazione meccanica di un attrezzo può essere fatta con una certa precisione, l'influenza dell'attrezzo/superficie sull'atleta è molto difficile da isolare e quantificare. A tal fine sono stati svolti studi epidemiologici e si sono tentati approcci con tecniche di modellizzazione laddove un approccio sperimentale era reso impossibile dall'enorme numero di variabili da controllare. Questi studi hanno aiutato sia a studiare il problema, sia a comprendere le implicazioni meccaniche che sono alla base di una prestazione specifica.

In accordo con quanto affermava Adrian Lees nel suo "Biomechanics of soccer: a review" (J. Sport Sciences, 1998,16,211-234), permangono ancora molte opportunità per la biomeccanica nell'ambito della scienza del calcio.

Le tecnologie disponibili sono indubbiamente migliorate offrendo notevoli vantaggi operativi. Resta però da verificare se alcuni elementi chiave, come l'interdisciplinarietà culturale dei vari attori e le componenti economico organizzative, abbiano tenuto il passo dell'evoluzione tecnologica.