

# Forze di reazione al suolo, cinematica dell'attrezzo nei preliminari e nei giri del lancio del martello

Prof. Renzo Pozzo

Tecnico FIDAL Settore Lanci - Biomeccanico

Con la collaborazione del Dipartimento di Scienza dello Sport della Scuola dello Sport, Roma

## INTRODUZIONE

Studi concernenti della struttura cinematica e dinamica nel lancio del martello per mezzo di analisi cinematografiche (DAPENA 1984, 1986, 1989, OTTO 1989, 1990) e registrazioni della forza di trazione sul filo (SLAMKA 1989, POZZO 1987) rappresentano una parte dell'intera bibliografia specifica. Tuttavia, per quanto riguarda le forze di reazione al suolo, pochi sono gli studi ufficialmente pubblicati. Partendo da questi presupposti, sono stati posti due obiettivi principali di studio:

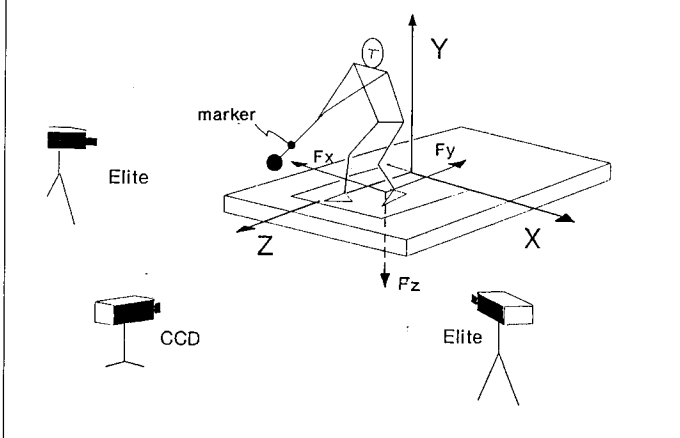
- verificare l'utilizzazione teorica (studio dei parametri del movimento) e pratica (rilevanza delle informazioni per allenatori ed atleti) di un sistema altamente efficiente di acquisizione ed elaborazione di dati cinematici e dinamici durante le normali sessioni di allenamento.
- Individuare le differenze sostanziali della struttura cinematica e dinamica in atleti dello stesso livello di prestazione ma con differenti caratteristiche di "tecnica" del gesto, nonché analizzare come differenti tecniche di esecuzione dei preliminari possano influenzare la struttura cinematica e dinamica del gesto.

## METODI

### Strumentazione

In fig. 1 viene schematizzata la condizione di rilevazione dati, ivi si distinguono:

Fig. 1 - Rappresentazione schematica delle apparecchiature sperimentali. Vengono definiti i sistemi di riferimento per la descrizione delle forze e delle coordinate spaziali.



- una pedana dinamometrica Kistler (900x600 mm.) per la registrazione delle forze di reazione al suolo;
- un sistema automatico di analisi della struttura cinematica del gesto (Elite) fornito di 2 telecamere a raggi infrarossi

(operanti a una frequenza di 100 Hz) in grado di rilevare la posizione istantanea di un marker situato sul filo a 20 cm. dalla testa del martello;

- una normale videocamera (tipo CCD 50 Hz) posta frontalmente per possibili analisi a carattere qualitativo e parzialmente quantitativo.

Il sistema permette l'acquisizione ed elaborazione parziale dei dati in tempi molto limitati. Al termine della prova è possibile prendere visione dei parametri fondamentali sia come valori numerici che come andamenti temporali.

### Parametri scelti

Parametri dinamici: 3 componenti ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) della forza risultante di reazione al suolo, i relativi impulsi ( $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ) e il momento di forza sul piano di appoggio ( $M_z$ ) rispetto all'asse verticale.

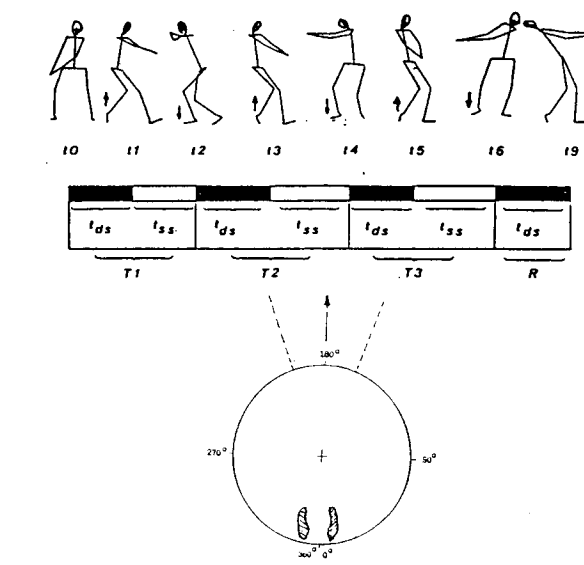
Parametri cinematici: traiettoria descritta dal marker e velocità periferica corrispondente.

### Soggetti e tipo di esercizi

Allo studio hanno partecipato 5 lanciatori con le seguenti caratteristiche: peso corporeo 93-113 Kg, statura 178-187 cm, età 21-27 anni, migliore prestazione 66-77 m.

Nell'analisi composita della struttura dinamica e cinematica i movimenti analizzati erano costituiti dai preliminari e dai primi due giri seguenti, altrimenti veniva considerato il lancio completo. Le fasi del movimento completo sono state definite in accordo con i periodi di singolo e doppio appoggio (fig. 2), con il punto di massima e minima altezza del marker e con l'angolo azimutale in riferimento al piano della pedana (DAPENA 1984).

Fig. 2 - (Sopra) Definizione delle fasi del movimento. To: istante della minima altezza del marker dal suolo; tds: fase di doppio appoggio; tss: fase di singolo appoggio. (Sotto) definizione degli angoli azimutali rispetto alla pedana e al settore.



### Trattamento dei dati

Per ottenere valori medi, deviazioni standard e differenze fra i parametri considerati sono stati adoperati metodi statistici standard fra i quali lo Student *t* test per variabili dipendenti e indipendenti, con un livello di significanza  $p < 0,05$ .

## RISULTATI

### Confronto tra diversi atleti

Nella comparazione tra differenti impostazioni tecniche si considerano separatamente le caratteristiche cinematiche e quelle dinamiche.

### Struttura cinematica

Nel confronto tra diversi atleti, si sono riscontrate differenze sostanziali nella traiettoria del martello.

Nella fig. 3A sono riportate le proiezioni sul piano orizzon-

taile della traiettoria orbitale del marker per atleti di diverse capacità tecniche ma dello stesso livello prestativo (74 m). La traiettoria riportata sulla destra è caratterizzabile come una tipica trocoide (DAPENA 1986) con simmetria quasi completa rispetto alla direzione di lancio (asse Z). Questo lanciatore esegue dei preliminari molto circolari e inclina il busto in avanti nel primo giro.

Al contrario, in soggetti con diverse combinazioni di preliminari ellittici e, altresì, diverse posizioni del tronco all'attacco del primo giro, la traiettoria del marker non presenta lo stesso livello di simmetria (fig. 3A parte sinistra). L'asse comune di rotazione infatti non "viaggia" parallelamente all'asse Z.

Nella fig. 3B sono riportate le proiezioni delle orbite sul piano sagittale (Y, Z). Si può facilmente constatare che le distanze tra le proiezioni dei tratti ascendenti e discendenti dell'orbita sono più pronunciate nel soggetto di sinistra (LS). Ciò indica che il piano orbitale è più inclinato (rispetto

Fig. 3 (A) - Proiezione sul piano orizzontale della traiettoria del marker per differenti soggetti.

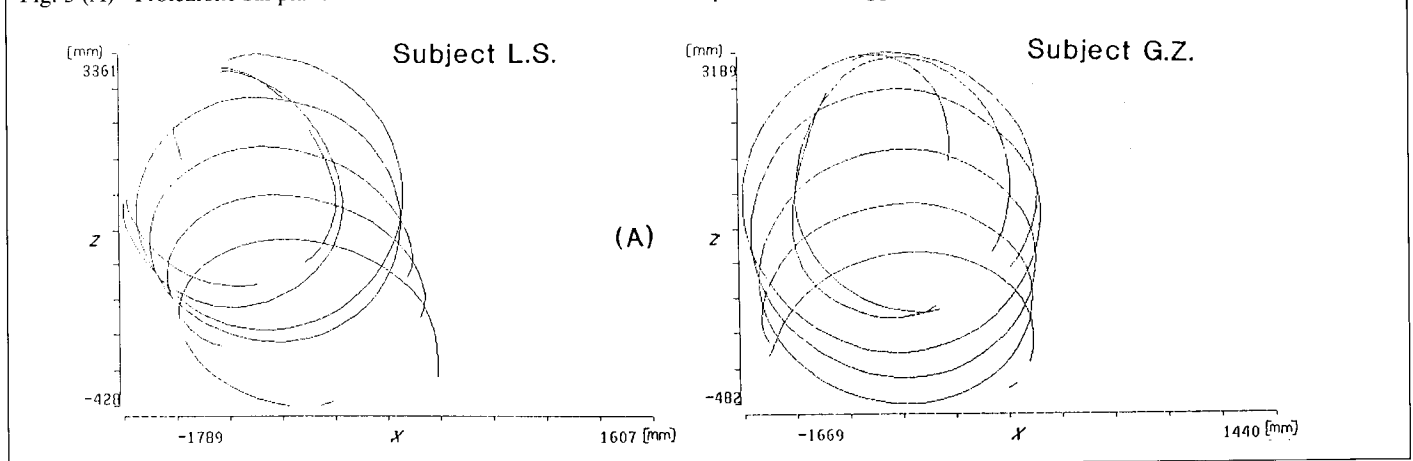
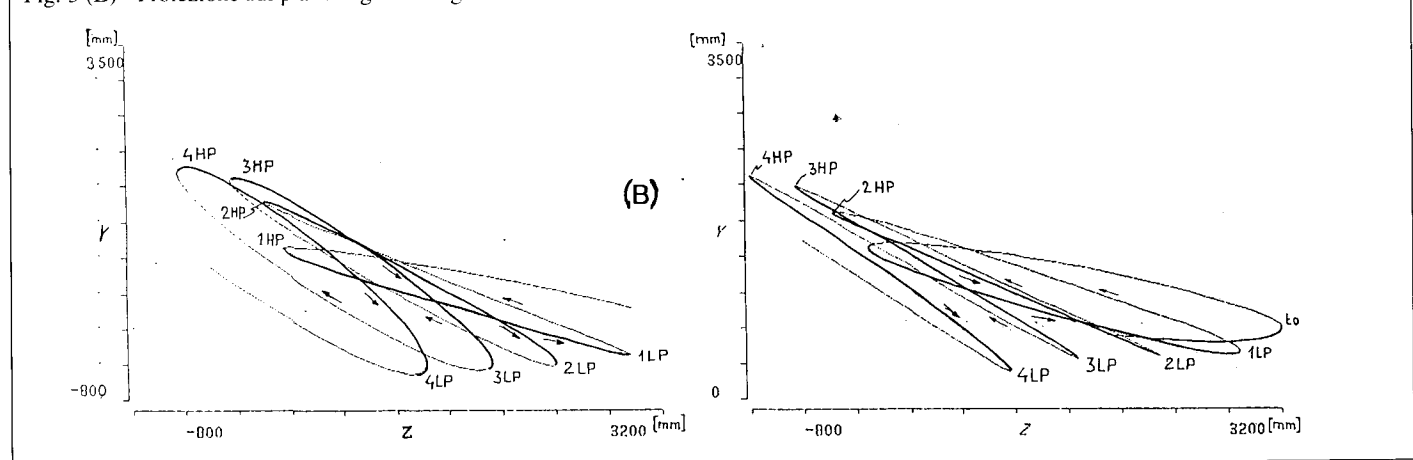


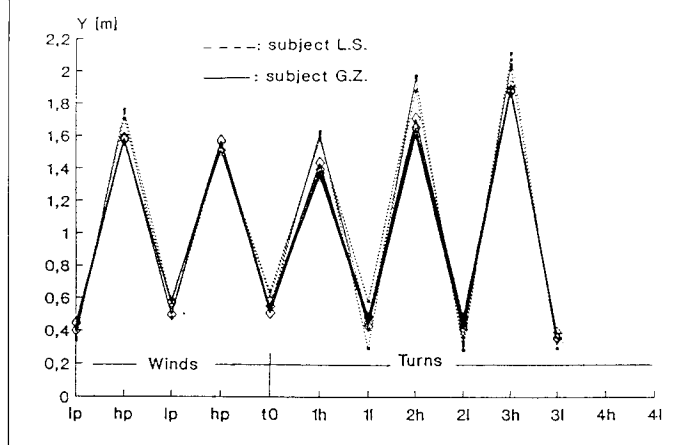
Fig. 3 (B) - Proiezione sul piano sagittale degli stessi lanci. Le frecce indicano i tratti ascendenti e discendenti della traiettoria.



all'asse congiungente il punto alto con il punto basso) verso i 90° azimut, cioè verso la parte sinistra del lanciatore. Inoltre si riscontra parimenti uno spostamento cospicuo (proiezione sui 30°-40°) del punto basso verso i 90° di azimut.

Le variazioni del punto basso (Lp) e del punto alto (Hp) sono più pronunciate nel soggetto LS (fig. 4 e tab. 1). Ciò significa una variazione meno uniforme del piano orbitale rispetto al piano della pedana (DAPENA 1989).

Fig. 4. Coordinata verticale (altezza) del marker ai punti alti (h) e bassi (l) durante i preliminari e i giri per due atleti (GZ, LS).



Tab. 1. Valori (in metri) dell'altezza del marker nei punti alti (h) e bassi (l) durante i preliminari e i giri.

| Soggetti<br>e N. prove | lp   | hp   | lp   | hp   | t0   | 1h   | 1l   | 2h   | 2l   | 3h   | 3l   | 4h | 4l   |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|
| G.Z.1                  |      |      |      |      | 0,55 | 1,37 | 0,48 | 1,7  | 0,48 | 1,9  | 0,39 |    | 0,33 |
| G.Z.2                  | 0,4  | 1,58 | 0,5  | 1,56 | 0,51 | 1,39 | 0,49 | 1,65 | 0,45 | 1,87 | 0,35 |    | 0,3  |
| G.Z.3                  | 0,45 | 1,57 | 0,58 | 1,51 | 0,55 | 1,35 | 0,45 | 1,64 | 0,43 | 1,88 | 0,36 |    | 0,31 |
| G.Z.4                  | 0,44 | 1,59 | 0,57 | 1,57 | 0,55 | 1,43 | 0,43 | 1,6  | 0,41 | 1,86 | 0,39 |    | 0,32 |
| L.S.1                  | 0,34 | 1,74 | 0,48 | 1,53 | 0,64 | 1,57 | 0,58 | 1,94 | 0,31 | 2,03 | 0,29 |    | 0,26 |
| L.S.2                  | 0,4  | 1,7  | 0,57 | 1,55 | 0,61 | 1,58 | 0,47 | 1,87 | 0,36 | 2,01 | 0,33 |    | 0,32 |
| L.S.3                  | 0,35 | 1,76 | 0,59 | 1,55 | 0,53 | 1,62 | 0,29 | 1,96 | 0,28 | 2,06 |      |    |      |
| L.S.4                  |      |      |      |      | 0,56 | 1,61 | 0,41 | 1,94 | 0,33 | 2,1  | 0,29 |    |      |

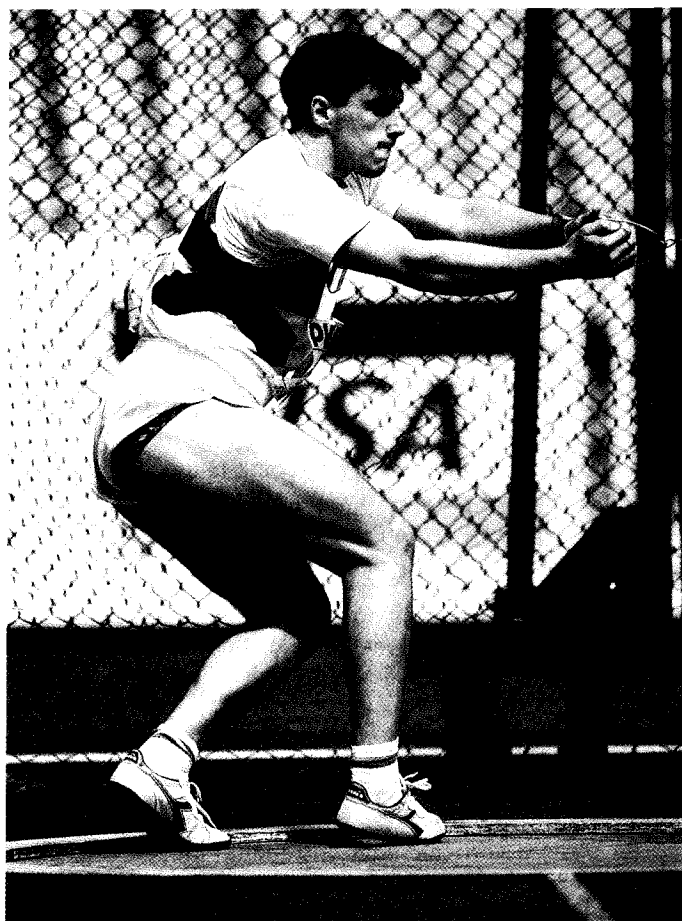
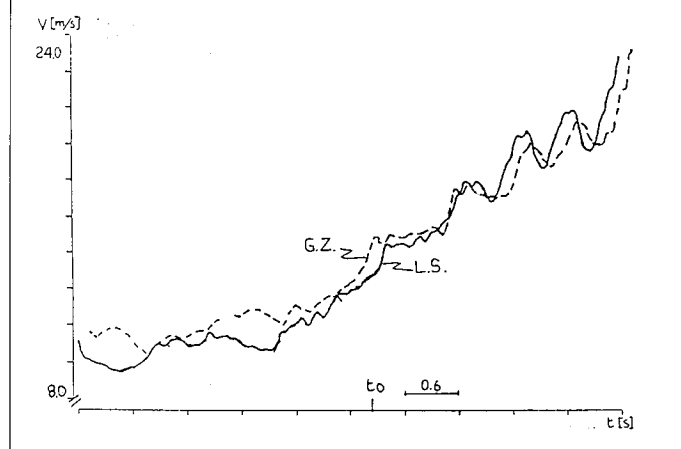
Prendendo in considerazione l'andamento temporale della velocità periferica (cfr. fig. 5), si possono trarre le seguenti considerazioni:

- per il soggetto G.Z. la velocità raggiunge valori più elevati (GZ: 11,50 m/s; LS: 10,00 m/s) nei preliminari;
- nel soggetto L.S. l'andamento della velocità nel 3° e 4° giro, presenta decrementi maggiori.

Facendo riferimento agli atleti di elite (OTTO 1988) i valori da noi ottenuti nella fase compresa tra l'inizio dei preliminari e t2 (corrispondente all'appoggio del piede nel primo giro) sono risultati piuttosto bassi pur tenendo conto della posi-

zione arretrata (raggio più corto) del marker e della situazione non competitiva dei lanci presi in esame.

Fig. 5. Andamento temporale della velocità periferica del marker in due lanci di atleti diversi (GZ, LS).

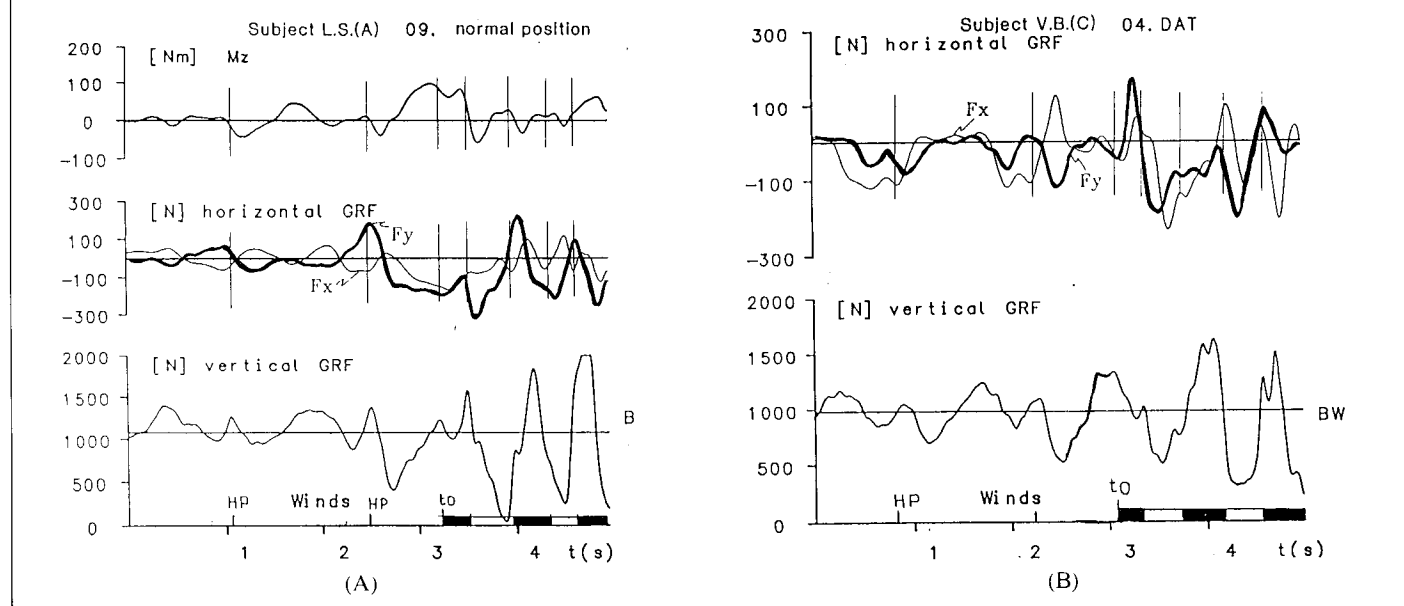


## Struttura dinamica

In figura 6 sono riportati gli andamenti temporali delle forze di reazione al suolo (orizzontale e verticale) durante i preli-

minari e ciò può essere messo in relazione ad azioni di disturbo da parte del lanciatore rispetto all'equilibrio dinamico tra il martello e il corpo stesso.

Fig. 6 - Andamento temporale delle forze orizzontali e verticali per lanciatori di diversa qualificazione (LS: 75 m; VB: 67 m). Per LS viene riportato anche l'andamento temporale del momento di forza sul piano di appoggio ( $M_z$ ).



minari e i primi due giri seguenti in atleti di alta qualificazione (parte sinistra) e in quelli di media qualificazione (parte destra). Nei lanciatori di migliore qualificazione, in corrispondenza del punto alto durante i preliminari, si riscontrano sempre valori di picco e opposti delle rispettive forze orizzontali ( $F_x$ ,  $F_y$ ). Ciò si verifica in modo esiguo o non si verifica affatto in atleti meno evoluti (fig. 6B) e può essere messo in relazione con diversi livelli di forza centrifuga del martello.

A supporto di questa ipotesi si è riscontrata una correlazione positiva tra questi parametri e un aumento della velocità periferica (nella fase corrispondente) quando lo stesso soggetto veniva studiato in due sessioni di allenamento separate.

Inoltre, in atleti che eseguono i preliminari circolarmente e con una velocità relativamente alta, le curve delle forze orizzontali ( $F_x$ ,  $F_y$ ) all'inizio del primo giro (cfr.  $t_0$  in fig. 7A) presentano valori rilevanti ( $F_x = 200$  N,  $F_y = -130$  N) e indicano, altresì, che la loro forza risultante sul piano orizzontale è orientata all'incirca verso la posizione momentanea del martello.

I valori del momento di forza sul piano di appoggio ( $M_z$ ) e rispetto all'asse verticale sono altrettanto elevati (fig. 7A) soprattutto nei preliminari. In alcuni casi (fig. 7B) si sono riscontrati valori negativi del momento  $M_z$  durante i preli-

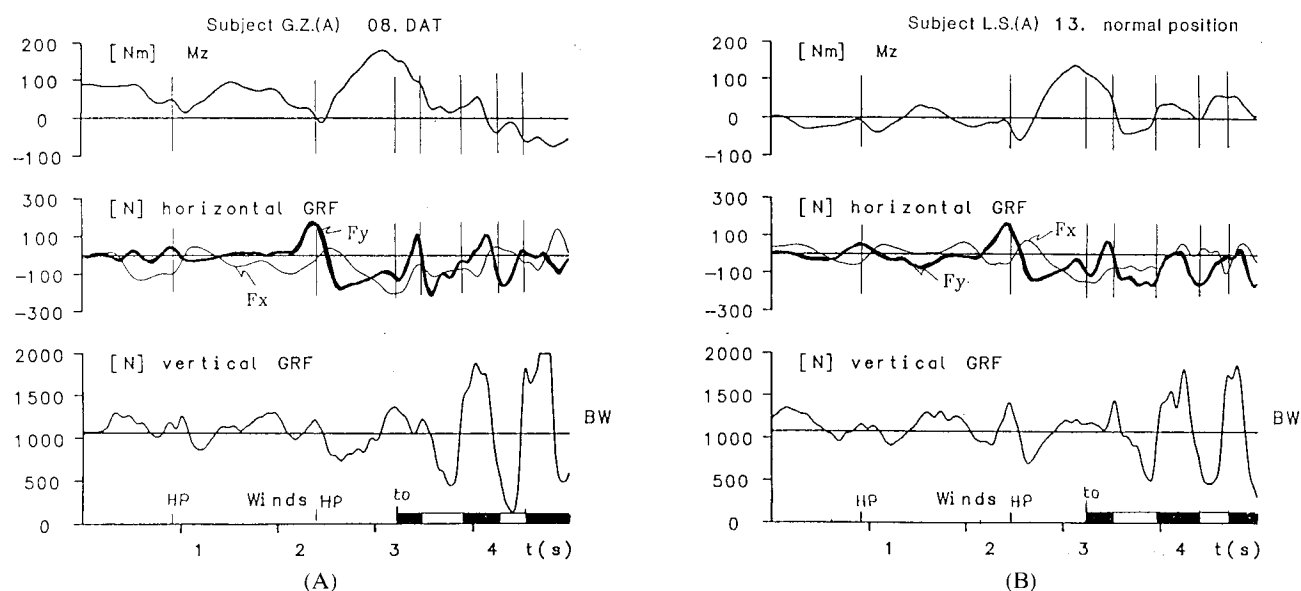
Prendendo in considerazione le fasi di singolo (ss) e doppio supporto (ds) si può evidenziare quanto segue: nei soggetti con elevate caratteristiche tecniche (fig. 7) la forza orizzontale trasversale ( $F_x$ ) tende gradualmente verso lo zero, mentre la forza longitudinale ( $F_y$ ) in ambo le fasi di singolo supporto risulta consistente. Ciò sembra essere in relazione con una azione "attiva" del lanciatore (con il piede) nel promuovere il movimento del suo centro di gravità corporeo nella stessa direzione del centro di gravità del sistema intero.

Alcune differenze concernenti il 1° e il 2° singolo appoggio sono dovute a differenti tecniche di traslocazione sul piede perno: cioè o solo sull'avampiede, oppure su tacco-punta.

Durante la fase di doppio appoggio (ds) per un decremento della forza verticale si è osservato spesso un parallelo incremento di  $F_y$  o di  $F_x$ . In concomitanza si verificava altresì una variazione delle caratteristiche di simmetria della trocoide descritta dal martello. Qualora il centro di gravità del sistema lanciatore-attrezzo risulti altresì "disturbato" nella sua traiettoria (verifica attuabile con ulteriore analisi cinematica tridimensionale dell'intero corpo) le constatazioni di cui sopra concordano con le osservazioni di Dapena (1986) riguardano i meccanismi dell'equilibrio dinamico.

Potendo comparare direttamente (tramite una metodica unica di rilevazione dati) le variazioni delle forze sopra riportate con le caratteristiche cinematiche del martello e

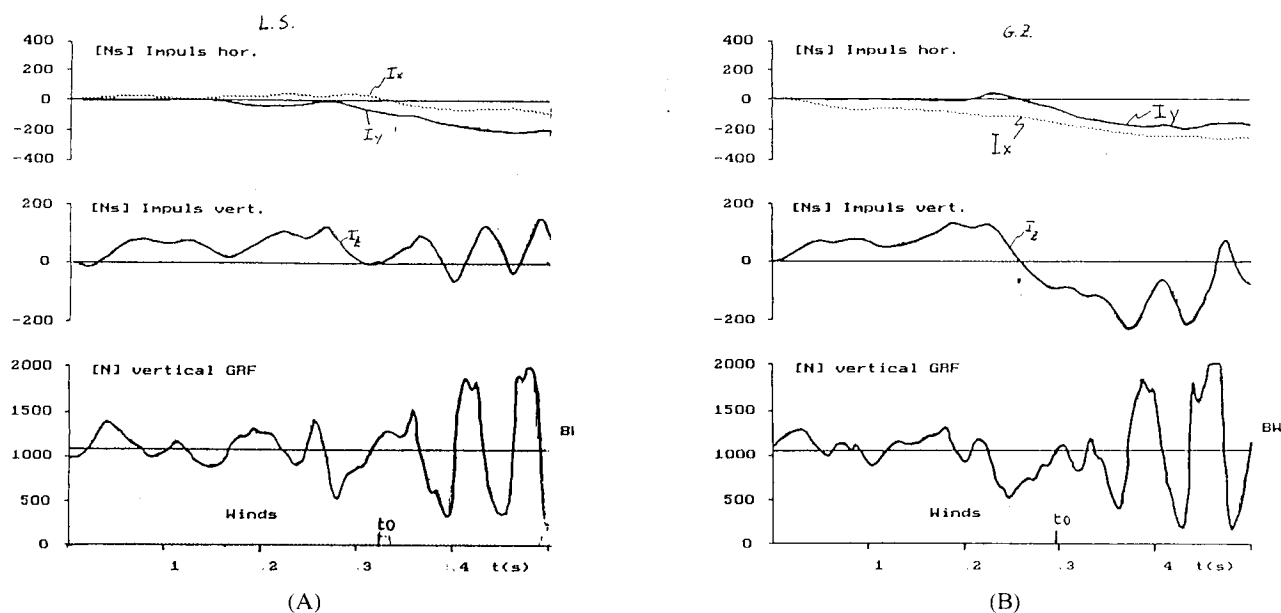
Fig. 7. Andamento temporale delle forze e del momento  $M_z$  per soggetti differenti. Il lanciatore in (a) produce un'orbita molto rotonda e con una elevata velocità periferica nei preliminari.



delle anche (OTTO 1988), sembra realistico poter ricavare informazioni molto affidabili sulla tecnica di tenuta spalle-anche e sulla efficacia dell'azione del lanciatore (in termini di incremento del livello energetico del martello con minore dispendio muscolare).

Un altro interessante parametro per la valutazione delle risorse tecniche è rappresentato dall'andamento temporale delle curve di impulso delle rispettive forze (fig. 8). Si sono riscontrati notevoli differenze negli andamenti degli impulsi della forza verticale ( $I_z$ ) e trasversale ( $I_x$ ). In primo

Fig. 8. Andamento temporale delle forze verticali (in basso) e degli impulsi per soggetti differenti.



luogo le caratteristiche dinamiche del moto più "rotondo" e con propulsioni più marcate nel piano orizzontale per il lanciatore GZ danno ragione del maggiore impulso trasversale e del minore impulso verticale.

In secondo luogo ciò può essere rapportato a differenti strategie di controllo motorio. Il soggetto GZ (fig. 8B) infatti, agisce consciamente (rilevazioni tramite formulario) nell'intento di realizzare un'orbita molto rotonda e un marcato equilibrio dinamico mentre il soggetto LS (fig. 8A) indirizza l'attenzione sulla sensazione di postura del busto e sulle tensioni muscolari.

### CONFRONTO TRA DIVERSE STRATEGIE DI ESECUZIONE DEI PRELIMINARI E DEL 1° GIRO

Un secondo obiettivo di questa indagine era l'analisi degli effetti dovuti all'inclinazione marcata del busto all'attacco e durante il primo giro. Ciò si verifica nel lanciatore LS.

Il raggio orbitale del martello non ha dimostrato significanti differenze rispetto al tipo di esecuzione. Negli andamenti temporali delle curve di velocità periferica e, altresì, considerando i punti alti e bassi della traiettoria descritta non si sono constatate variazioni consistenti. Questo conferma l'ipotesi che molto spesso esistono contraddizioni effettive tra l'intenzionalità dell'atto motorio e gli effetti cinematici dello stesso.

In fig. 9 sono riportati gli andamenti temporali delle forze di

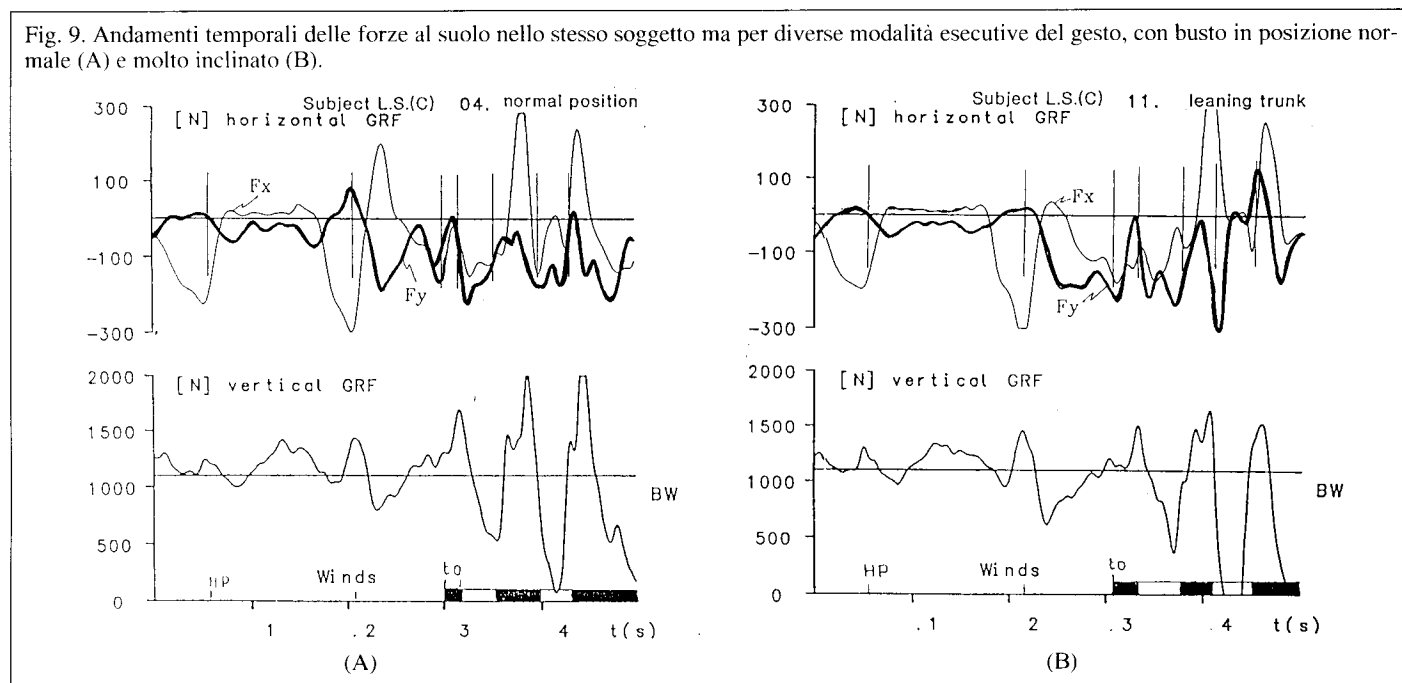
reazione al suolo nelle due situazioni di esecuzione motoria: a busto marcatamente inclinato (leaning trunk) e in postura normale (normal position). Quando il tronco viene inclinato la forza trasversale  $F_x$  diminuisce marcatamente in prossimità del secondo punto alto (HP) durante i preliminari, comportando ciò una variazione della direzione del vettore risultante sul piano della pedana. Al punto *TO* (attacco)  $F_x$  e  $F_y$  sono maggiori e ciò si riscontra anche verso la fine del primo doppio appoggio (ds), mentre la forza verticale raggiunge valori inferiori. Se si comparano le dette forze nel soggetto GZ esse (i picchi) risultano spostati (temporalmente) verso la fase di singolo appoggio.

Per contro, durante la fase del secondo singolo appoggio tutte le tre forze raggiungono lo zero, il sistema cioè non è a contatto con il suolo.

### CONCLUSIONI

- L'inclinazione del busto in avanti *non implica* necessariamente un effettivo incremento del raggio orbitale dell'attrezzo.
- In atleti di elevata qualificazione tecnica, il momento  $M_z$ , le forze orizzontali e gli impulsi relativi sono elevati in determinate fasi: primo e ultimo preliminare e *TO*.
- Durante la fase di singolo appoggio la forza longitudinale correla con la traslazione del centro di gravità del sistema e con l'aumento della velocità periferica del martello.
- L'andamento temporale delle curve degli impulsi e le

Fig. 9. Andamenti temporali delle forze al suolo nello stesso soggetto ma per diverse modalità esecutive del gesto, con busto in posizione normale (A) e molto inclinato (B).





caratteristiche della traiettoria del martello possono fornire indicazioni molto attendibili sulle risorse tecniche del gesto motorio.

- Tramite l'acquisizione separata delle forze all'appoggio destro rispettivamente sinistro e, contemporaneamente, della forza di trazione sul filo si possono ricavare maggiori informazioni onde identificare correlazioni intrinseche tra l'incremento della velocità del martello e il mantenimento dell'equilibrio dinamico. Ciò porterebbe altresì un contributo decisivo alla presente metodologia.

- Tramite un'analisi comparata delle forze di reazione al suolo, della cinematica del martello e di alcune parti significative del corpo (anche) con la struttura cinematica e dinamica (momento angolare) dell'intero sistema e dei suoi sistemi parziali (martello, lanciatore), si potrebbe elaborare un protocollo diagnostico di routine molto rapido e affidabile.

- L'utilizzo di un sistema di rilevazione ed elaborazione dati ad alto livello di automatizzazione si dimostra opportuno sia per obiettivi teorici che per quelli pratici.

*Indirizzo dell'Autore:  
Prof. Renzo Pozzo  
Via Moro, 7  
33033 Codroipo (VA)*

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) DAPENA J. *The pattern of the hammer speed during a hammer throw and influence of Gravity on its fluctuations.* J. Biomech. 17: (1984) 553-559.
- 2) DAPENA J. *A kinematic study of center of mass motion in the hammer throw.* J. Biomech. 19: (1986) 147-158.
- 3) DAPENA J. *A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw.* Med. Sc. Spo. Exer. 21: (1989) 206-220.
- 4) OTTO R. *Biomechanical analysis of the hammer throw.* Scientific report of the world championship in Rome 1987. (1988).
- 5) POZZO R. *Biomechanische Mittel für Techniktraining und diagnostik. Aspekte der Informationsprozesse.* Leistungssport 3: (1987) 35-41.
- 6) SLAMKA M. *Vplyv pozicie tela v obratkach na dynamickv rovnovahu v hode kladivom.* Teor. Praxe tel. Vych 4. (1979) 214-219.