

GENESI DELLO STUDIO BIOMECCANICO NELLA TECNICA DEI SALTI

INDICE

Giorgio Fracchia
Nato ad Asti il 24 marzo 1948. Laurea in Ingegneria civile, con interesse a studi di biomeccanica (cinematica) applicata all'atletica leggera.
Ha praticato l'atletica dal 1964, nell'ambito della società Vittorio Alfieri di Asti, nella specialità del decathlon, prima a livello assoluto poi nel settore master.
Con la qualifica di istruttore ottenuta nel 1970 si è dedicato all'allenamento di atleti delle categorie cadetti, allievi e juniores, principalmente nelle prove multiple e nel salto con l'asta. Dal 2024 è allenatore specialista salto.

Tutor Prof. Stefano Serrano

1. Introduzione
2. Metodologia dell'analisi biomeccanica
3. Panoramica sul salto in lungo del XX secolo
4. L'atleta del XX secolo, Carl Lewis ad Helsinki 1983
5. L'impresa del XX secolo, il salto di 8,90 di Bob Beamon a Città del Messico 1968

1. INTRODUZIONE
Questo studio illustra le prime esperienze di analisi nel campo della biomeccanica del movimento sportivo, in particolare indirizzato alle specialità dei salti dell'atletica leggera, e più in dettaglio al salto in lungo, adottando i mezzi semplificati di analisi a disposizione degli autori del lavoro all'epoca degli eventi analizzati (1968, Olimpiadi di Città del Messico; 1983, Campionati mondiali di Helsinki).

2. METODOLOGIA DELL'ANALISI BIOMECCANICA
3. Genesi dell'analisi biomeccanica

Le azioni sono state filmate con cineprese semiprofessionali (Pallaid-Bolex) con velocità di ripresa tra i 50 e 100 f/s. Per l'impossibilità di accedere al campo di gara la ripresa è eseguita dalla tribuna, con coordinate in altezza e nel piano, rispetto all'evento filmato, determinate in modo approssimativo. I riferimenti dei tempi di esecuzione dell'azione si basano unicamente sulla velocità di ripresa della cinepresa. I riferimenti metrici sono ricavati in accordo a note misure rilevabili dal campo di gara, quali la distanza dall'asse di battuta della sabbia, la lunghezza del salto, le misure standard ricavabili dalla pista e dalle corsie. I fotogrammi del filmato vengono quindi stampati su carta millimetrata, mantenendo i rapporti di scala tra le varie immagini (si consideri che all'epoca delle azioni filmate, seconda metà del '900, l'uso di computer ad uso comune era ancora precluso).

Simon Ehammer, Golden Gala, Roma 2025

Gli ultimi 4 passi di tutti i finalisti sono a loro volta oggetto di indagine e di analisi sia cinematica sia afferente alla rilevazione dei tempi di passo e dei tempi di volo, esposti in altrettante chiare tabelle. Gli aspetti cinematici dello stacco e del salto sono trattati in modo approfondito ricorrendo alle note formule della fisica e della biomeccanica, studiando in modo particolare il volo del volo, in opportuna scala. Lo stesso metodo grafico-analitico della traiettoria del centro di massa del corpo nella fase di volo, che consente di tracciare il contornogramma dello stacco e del volo, consente di analizzare il salto di Grimes di 8,23 metri. Un'ulteriore tabella riporta i dati (angolo di stacco, velocità di stacco, altezza parabolica) di tutti gli altri finalisti.

L'ultima parte di questo brillante saggio tecnico, con originali risvolti storici, è dedicata all'impresa del XX secolo, il salto di 8,90 metri di Bob Beamon a Città del Messico 1968. Dopo interessanti pillole di storia ed accenni ai metodi di analisi utilizzati si passa ad una trattazione degli ultimi tre passi, dello stacco e del salto, ricorrendo anche in questo caso al contornogramma del salto di 8,90 metri, ampiamente descritto e commentato.

Il commento finale evidenzia la soddisfazione dell'autore per le conferme avute, pur con la semplicità dei mezzi utilizzati, e soleciterà la gratitudine dei lettori per questo magnifico esempio di competenza tecnica e di cultura sportiva.

Grazie, grazie, grazie.

Giuliano Grandi

Si passa poi all'analisi del salto con la creazione, partendo dalla stampa dei fotogrammi, di contornogrammi dello stacco e del volo per determinare la lunghezza della parabola. Utilizzando poi le formule della trigonometria e della fisica si procede alla determinazione dei parametri cinematici della prestazione (velocità di ingresso e di uscita, angoli di stacco, lunghezze del moto parabolico). Oggi l'uso comune di personal computer permette comunque di minimizzare gli errori di lettura della grafica. Considerando che viene utilizzata una sola videocamera, opportune correzioni sulle misurazioni delle immagini stampate vengono adottate per ottenere risultati più attendibili. La videocamera deve essere posizionata a sufficiente distanza dal piano in cui si muove l'atleta per ridurre al minimo l'errore di parallela, che potrebbe essere ridotto utilizzando più videocamere. L'asse ottico è perpendicolare al piano del movimento. L'errore di parallela è legato all'angolo di ripresa ed è tanto maggiore quanto maggiore è l'angolo di ripresa rispetto alla perpendicolare all'azione del salto. Un altro aspetto da considerare è che con l'aumentare della distanza di ripresa si riduce anche la dimensione (apparente) dell'atleta sul fotogramma stampato. La combinazione di questi due effetti può portare anche ad un errore di lettura del 10%. Oportune correzioni di lettura dei fotogrammi sono state prese in conto in questo studio.

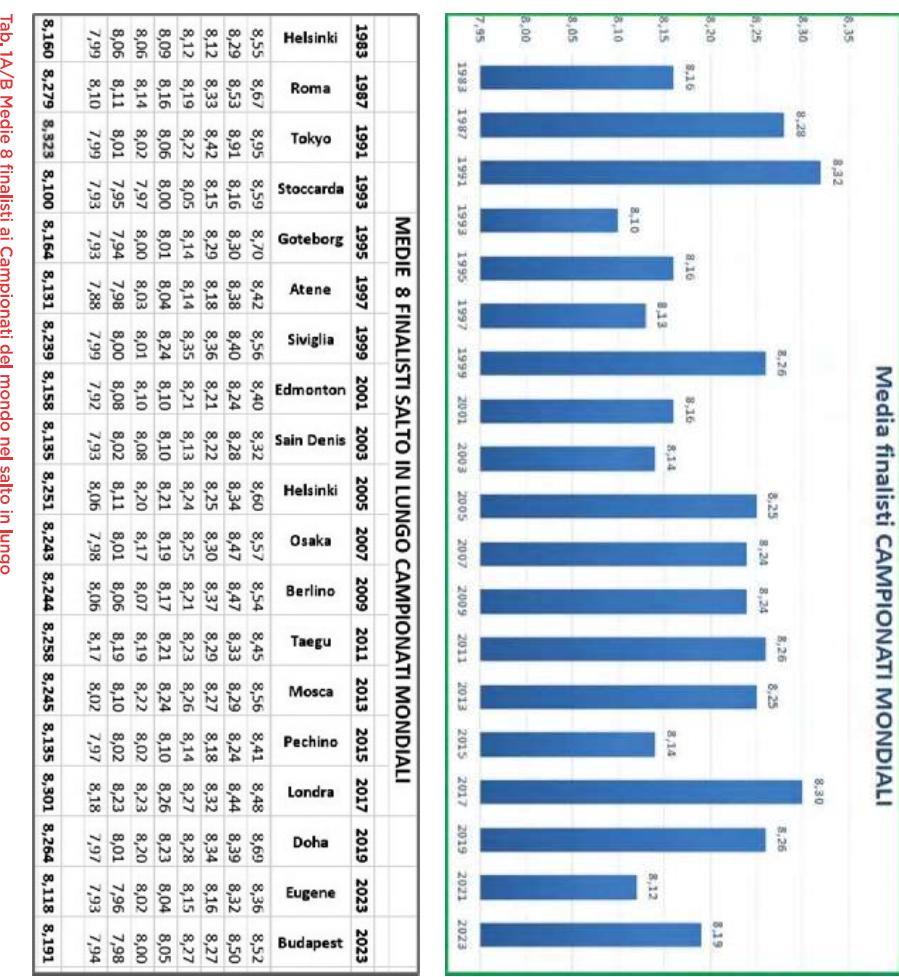
L'analisi biomeccanica, oggi

L'analisi biomeccanica si è successivamente evoluta soprattutto negli ultimi decenni anche per l'entrata in gioco dei procedimenti di studio computerizzati.

Oggi si usano videocamere professionali ad alta velocità (200 f/s fino a 2000 f/s). L'utilizzo di più videocamere sincronizzate, invece di un unico apparecchio, permette di annullare gli errori di parallela. Le videocamere sono disposte in posizioni opportune per avere una visuale completa del gesto sportivo nelle tre direzioni del movimento e non solo nel piano dell'azione studiata. Videocamere posizionate frontalmente rispetto al salto permettono anche di percepire i minimi movimenti laterali dell'atleta durante la rincorsa e il salto.

Programmi di video analisi consentono di definire con esattezza parametri quali tempi di contatto e di volo e ampiezze dei passi. Si utilizzano punti di riferimento posizionati sul corpo dell'atleta per valutare gli angoli di impostazione degli elementi corporei e definire con maggior precisione la posizione del centro di massa, con l'aiuto di programmi computerizzati e software per analisi video, come illustrato nel lavoro dell'Università di Jowa' sui salti di Jason Grimes.

La disposizione di cellule fotoelettriche a distanze note dallo stacco definiscono con maggior precisione le velocità degli ultimi passi della rincorsa. L'analisi può essere completata e migliorata con esami di laboratorio, disponendo di adeguate attrezature. Questo comporta uno studio dell'azione tecnica anche da un punto di vista dinamico, e non solo cinematico, con l'uso di pedane piezometriche per la definizione delle forze e delle accelerazioni, per lo studio più dettagliato dei parametri che oggi completano il quadro delle innovazioni in questo campo di studio.



Tab. 1A/B Medie 8 finalisti ai Campionati del mondo nel salto in lungo

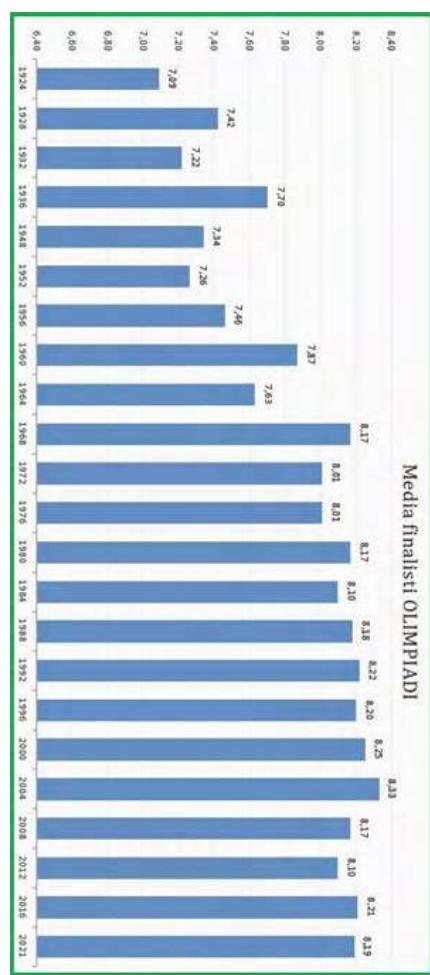
Non si notano progressi sostanziali negli ultimi 40 anni, sia a livello di medie che di prestazioni individuali. In molte edizioni hanno avuto accesso alla finale anche atleti con meno di 8 metri le medie sono praticamente allineate.

La differenza la fanno le prestazioni fuori standard di pochi campioni di livello assoluto, come nel 1991 a Tokyo dove si registra la migliore media delle 19 edizioni grazie alle due prestazioni eccezionali di Mike Powell (8.95 m record mondiale tuttora imbattuto) e di Carl Lewis (8.91 m, seconda prestazione di sempre, sia pur ventosa) che hanno avvicinato la barriera dei 9 metri in quella gara.

3. PANORAMICA SUL SALTO IN LUNGO DEL XX SECOLO

Uno sguardo ai risultati ottenuti nelle più importanti manifestazioni internazionali della seconda metà del secolo scorso (Olimpiadi e Campionati del mondo) ci dà un'idea dell'evoluzione di questa specialità in campo maschile negli ultimi decenni.

CAMPIONATI DEL MONDO: nella Tab. 1A/B i risultati degli otto finalisti maschili nel salto in lungo di tutte le 19 edizioni disputate fino ad oggi e la loro media.



Tab. 2 Medie finalisti alle Olimpiadi nel salto in lungo

Anche in questo caso i progressi medi dell'ultimo mezzo secolo sono pressoché insignificanti. La recente edizione 2024 dei Giochi di Parigi dà una media di 8,17 (perfettamente in linea con quella del 1968 (56 anni prima)), anche se giova ricordare che a Città del Messico era presente un certo Bob Beamon, che con il suo storico salto di 8,90 m ha certamente contribuito ad alzare la media.

Perché questa immobilità di risultati?

La specialità del salto in lungo è basata sulla velocità, qualità poco allenabile perché molto naturale ("velocisti si nasce") e che non ha avuto vantaggi da evoluzione tecnica come nel salto in alto con il cambio di stili di salto, con le metodologie di allenamento, il miglioramento dei materiali della pista o altri fattori come le nuove scarpe al carbonio che ultimamente hanno fatto progredire in modo deciso alcuni settori dell'atletica, in particolare le corse sulle lunghe distanze.

Velocista e saltatore: solo Carl Lewis e pochi altri

L'accoppiata tra queste due specialità sembra essere molto rara, a scapito della qualità in comune tra le due (la velocità).

Nella Tab. 1 vi è un solo nome tra gli otto finalisti in qualsiasi edizione dei Campionati del mondo che appare anche in una corrispondente finale della velocità. L'atleta è Carl Lewis, vincitore ad Helsinki nel 1983 anche dei 100 m in 10,07.

E andando ancora più indietro bisogna risalire alle Olimpiadi di Berlino 1936 con la doppietta di Jesse Owens nei 100 (10,3) e nel salto in lungo, con un salto di 8,06 che ancora oggi potrebbe ben figurare in una finale mondiale.

4. L'ATLETA DEL XX SECOLO: CARL LEWIS A HELSINKI 1983

Pillole di storia Considero Carl Lewis l'atleta più rappresentativo del secolo, ancor più di Jesse Owens che è passato alla storia per un paio di eventi, sia pur eccezionali: il 25 maggio 1935 ad Ann Arbor (USA) quando in due ore migliaia quattro primati mondiali, tra i quali il primo over 8 metri della storia nel salto in lungo, poi l'anno dopo alle Olimpiadi di Berlino con le quattro medaglie d'oro conquistate nel 100m, 200m, lungo e staffetta 4x100.

Carl Lewis è stato protagonista ai massimi livelli mondiali nel salto in lungo e nella velocità per almeno 15 anni, collezionando quattro vittorie consecutive ai Giochi olimpici nel lungo (un record che eguaglia i quattro successi di Al Oerter nel disco) e una bella serie di titoli mondiali nelle due specialità tra il 1983 e il 1996. L'atleta ha sempre dato la preferenza alle vittorie piuttosto che ai record, un settore che per sua scelta, e anche per un po' di sfortuna, non gli ha dato le soddisfazioni che avrebbe meritato: - due volte primatista mondiale sui 100 piani, ma a "posteriori" dopo la squalifica di Ben Johnson a Roma



Carl Lewis, Giochi olimpici, Seul 1988

(1987) e l'anno dopo alle Olimpiadi di Seoul, in entrambe le gare Carl si era classificato al secondo posto scendendo sotto il precedente limite mondiale

- sui 200 metri giova ricordare il 19,75 da lui ottenuto a Indianapolis il 18 giugno 1983 correndo gli ultimi 15 metri a braccia alzate in segno di giubilo, atteggiamento che gli è costato ben più dei 3 centesimi di secondo che al traguardo lo hanno tenuto dietro all'allora record mondiale di Pietro Mennea (19,72) nel salto in lungo. Lewis è stato il primo a "colmare" il buco di misure tra lo storico salto di 8,90 di Beamon e il resto del mondo, rendendo abituali le prestazioni oltre gli 8,70 tra le quali ricordiamo il salto di 8,77 (Los Angeles, 18 maggio 1975) lasciando 21 cm in pedana, un salto reale vicinissimo ai 9 metri. Ai Mondiali di Tokyo (1991) era stato il primo atleta a superare il mitico 8,90 di Beamon, con un suo salto di 8,91, purtroppo invalidato da una bava di vento di troppo (+2,3). Subito dopo è arrivato l'8,95 di Powell, attuale record del mondo.

Oggetto di questa analisi è lo studio biomeccanico della finale del salto in lungo maschile ai primi Campionati del mondo disputati a Helsinki nel 1983, rassegna istituita in quell'anno con cadenza quadriennale e poi diventata biennale.

La gara è stata vinta dall'emergente americano Carl Lewis che conquistava così a 22 anni il suo primo successo di rilevanza mondiale.

La finale del salto in lungo a Helsinki

Questa analisi è sviluppata esaurientemente sul salto vincente di Carl Lewis, una prima prova di 8,55 sufficiente per assegnargli la medaglia d'oro con buon margine sul connazionale Grimes (8,29). Altri salti dei finalisti sono trattati in questa relazione per confronto.

In Tab. 3 la classifica ufficiale della gara di Helsinki 1983.

Pos	Nome	Prove						Misura	Note
		1	2	3	4	5	6		
1	Carl Lewis (USA)	8.55	—	8.42	—	—	—	8.55 m	CR
2	Jason Grimes (USA)	8.29	X	8.23	8.29	X	8.17	8.29 m	
3	Mike Conley (USA)	X	8.06	X	8.12	8.12	X	8.12 m	
4	László Szalma (HUN)	X	7.93	X	8.08	8.12	8.12 m		
5	Nenad Stekić (YUG)	7.80	5.54	7.94	5.99	7.75	8.09	8.09 m	
6	Gary Honey (AUS)	7.86	7.93	8.06	X	7.94	7.96	8.06 m	
7	Antonio Cárregos (ESP)	7.94	7.79	7.92	7.91	8.06	X	8.06 m	
8	Yusuf Aili (NGA)	7.89	X	7.89	7.85	7.89	7.74	7.89 m	

Tab. 3 La finale del salto in lungo ad Helsinki

Metodi di analisi utilizzati

Videocamera
Venne utilizzata una sola videocamera fissa per registrare le azioni di ogni atleta in ogni prova. La videocamera

è impostata a 62 f/s. Cellule fotoelettriche disposte da altri gruppi di studio a distanze note lungo la pedana in prossimità dello stacco sono state utilizzate in questo lavoro per determinare le misure metriche.

I fotogrammi delle azioni studiate vengono stampati su carta in scala per la conversione delle distanze misurate in quelle reali.

Posizionamento della videocamera

È posizionata in tribuna secondo lo schema di Fig. 1. È allineata perpendicolarmente alla pedana a 8 metri di distanza dall'asse di battuta e registra l'azione degli atleti negli ultimi passi di avvicinamento allo stacco e di tutto il salto.

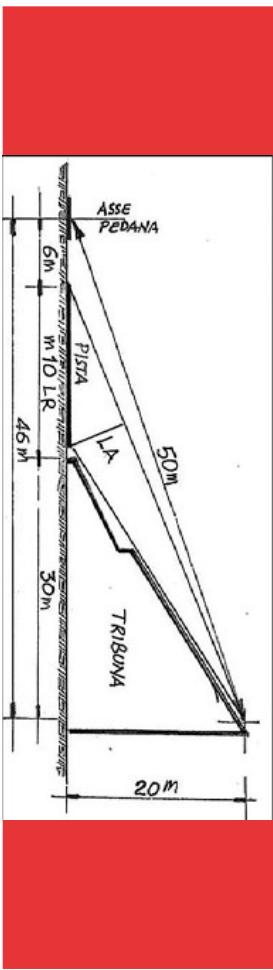


Fig. 1 Posizionamento videocamera

La videocamera è posizionata a circa 46 metri dall'asse pedana e in tribuna ad una altezza di 20 metri sul terreno.

Analisi dei filmati

Immagini selezionate dei film per ogni prova sono stampate e analizzate.

Riferimenti di tempo

Si utilizza la velocità di ripresa di 62 f/s.

Riferimenti metrici

In direzione **trasversale** (perpendicolare all'asse pedana) si utilizzano i dati della Fig. 1 rapportando le misure rilevate nell'immagine stampata (Misura Apparente LA) alle misure note del campo (LR = larghezza pista, larghezza corsia = 122 cm). Vengono così determinate le dimensioni reali: larghezza pedana 150 cm, larghezza fossa sabbia 250 cm. Poiché l'azione del salto avviene praticamente nel piano longitudinale (asse pedana e asse verticale) e non

nello spazio, queste ultime misure servono per determinare lo scostamento **laterale** dell'atleta in fase di atterraggio rispetto all'asse pedana.

In direzione **longitudinale** (asse pedana) sono presenti importanti riferimenti dati dalle fotocellule predisposte lungo la pedana da altri gruppi di studio, posizionati a 1,6 e 11 metri dall'asse di battuta. Questi rilevi sono stati utilizzati in questa relazione per il calcolo delle velocità in entrata, delle lunghezze e dei tempi dei passi.

Errore di parallasse

In direzione longitudinale la disponibilità di una sola videocamera, che segue l'azione completa dell'atleta dalla rincorsa all'atterraggio, genera un errore di parallasse sulle letture dei riferimenti ai lati della pedana, e anche un errore di prospettiva, in quanto le immagini del salto a maggior distanza dall'obiettivo appaiono più piccole, perciò più lontane, e con angolo di ripresa più ampio rispetto alle immagini in primo piano. Questi due effetti richiedono una correzione della misura rilevata sul fotogramma, in particolare nei primi passi della rincorsa (che sono i più lontani ed inclinati rispetto all'osservatore), che può arrivare al 10% rispetto alle immagini in primo piano, e di questo fattore si è tenuto conto nelle verifiche.

Dati biometrici e tecnici dei finalisti

atleta	nazione	altezza	peso kg	personale	gara	stile
LEWIS	USA	1,88	79	8,79	8,55	3 1/2
ALI	NIG	1,83	83	8,21	7,89	3 1/2
HONEY	AUS	1,83	70	8,13	8,06	1 1/2
CÁRREGOS	SPA	1,83	78	8,19	8,06	3 1/2
CONLEY	USA	1,88	77	8,28	8,12	2 1/2
SZALMA	HUN	1,88	87	8,24	8,12	2 1/2
GRIMES	USA	1,79	77	8,39	8,29	2 1/2
STEKIĆ	YUG	1,81	69	8,45	8,09	

Tab. 4 Dati biometrici e tecnici dei finalisti

Analisi del salto, la rincorsa di Lewis

La rincorsa è finalizzata ad ottenere la massima velocità controllabile allo stacco, essendo evidente che la lunghezza del salto è di fatto determinata principalmente da questo valore, oltre che dall'angolo di stacco. Un saltatore da otto metri si presenta allo stacco con una velocità di $10 + \sqrt{-0.5 m/s^4}$. Valori più elevati di velocità sono indicati per velocisti puri come Carl Lewis in salti superiori a 8,50 metri, fino a un massimo di 11,3 m/s⁴ nella gara di lungo ai Campionati del mondo di Roma 1987. È possibile verificare in prima approssimazione il rapporto della velocità controllabile sulla velocità massima dei dati biomeccanici di Carl Lewis, che oltre ad essere un eccellente saltatore in lungo era anche un eccellente velocista. Una velocità di 11,3 m/s è compatibile con le doti di velocità di questo grande atleta che nel corso del suo WR sui 100 piani (9,93 a Seoul 1988 dopo la squalifica di Ben Johnson) ha toccato⁶ una punta di 0,83 sec tra i 150 e 60m, un dato che equivale a una velocità di 12,04 m/s. Ne deriva per Lewis un rapporto tra velocità controllabile e velocità massima pari al 94%, valore in accordo alla bibliografia sull'argomento (G. Dyson propone un valore indicativo del 95%). Per raggiungere velocità submassiciale un atleta necessita di una rincorsa di 40-45 m, questi sono i valori abitualmente adottati da atleti di alto livello. I valori della velocità di entrata vengono in genere riferiti agli ultimi 5 o 10 metri della rincorsa, dove l'atleta cessa di spingere e procede per inerzia egli ultimi due bracci per prenderlo lo stacco. La perdita di velocità tra il valore in entrata e quello di stacco è valutabile, secondo diversi autori⁷, tra 0,5 e 1,5 m/s. Inoltre nelle fasi finali della rincorsa l'inevitabile caricamento sull'ultimo passo, con conseguente abbassamento del CM, riduce, in quasi tutti i saltatori, la lunghezza dell'ultimo passo⁸ rispetto ai precedenti e anche il tempo di esecuzione è notevolmente ridotto, in certi casi quasi dimezzato.

Si vedano le tabelle 6 e 7 di questo report. La rincorsa di Carl Lewis nel suo salto di 8,55 ad Helsinki è analizzata attraverso lo studio dei fotogrammi con maggiori dettagli nella Tab 5 gli ultimi 11 passi (27 metri) con le lunghezze e i tempi.

PASSO DALLO STACCO	PIEDE DI STACCO	LUNGHEZZA PASSO	distanza dallo stacco	Tempo passo completo	Tempo fase aerea	Tempo contatto	metri		millesimi di secondo	
							metri	metri	millesimi di secondo	
11	sinistro	2,40	27,20	256	158	98				
10	destro	2,45	24,92	234	135	99				
9	sn	2,51	22,47	258	155	103				
8	dx	2,50	19,96	235	139	96				
7	sn	2,44	17,46	245	147	98				
6	dx	2,50	15,02	244	145	99				
5	sn	2,57	12,52	256	155	101				
4	dx	2,58	9,95	245	148	97				
3	sn	2,59	7,37	253	159	94				
2	dx	2,48	4,78	242	121	121				
1	sn	2,27	2,30	205	81	124				
stacco	dx									

Tab. 5 La rincorsa di Carl Lewis

La lunghezza dei passi dell'atleta, circa 250-260 cm, è decisamente superiore alla media. In questa gara solo Szalma e Alli con i loro ultimi quattro passi di 960-980 cm, si avvicinano ai 992 cm di Lewis che, nel secondo e ultimo salto di gara (8,42 la sua misura), fa ancora meglio con 10,60 m (media 265 cm/ passo), correggendo senza apparente difficoltà un'errata precisione di rincorsa con un penultimo passo di 3 metri.

Lewis, che è alto 1,88, conferma il suo lungo passo di corsa con i 44,3 passi utilizzati per vincere la gara dei 100 metri nella stessa edizione dei Campionati di Helsinki, una media di 2,26 m/ passo, sicuramente sottostimata dai primi passi di gara che sono decisamente più corti.

Si nota un tempo di contatto al suolo di circa 100 ms, un po' inferiore alle valutazioni bibliografiche⁹ di 120 ms.

Gli ultimi 4 passi

I dati cinematici degli ultimi 4 passi degli atleti sono calcolati con buona precisione utilizzando i riferimenti metrici disponibili sul campo, in dettaglio le tre fotocellule disposte a 1, 6 e 11 metri dallo stacco, con pedana che dista 4,5 m dalla sabbia.

La Tab. 6 riassume dati e caratteristiche della fase finale della rincorsa di 21 salti, 19 dei quali (benché ufficialmente solo 13) superiori agli 8 metri.

atleta	misure del salto					lunghezza passo			Ultimi 10 metri		
	A	B	C	D	E	ultimi 4	penultimo	ultimo	ultimo/penultimo	tempo a*100	velocità m/s
LEWIS	8,55	8,58	3	//	15	992	248	227	0,92	96,0	20,42
LEWIS	8,42	8,42	0	//	25	1060	300	289	0,78	96,0	20,42
ALLI	7,98	8,08	19	//	//	971	245	246	0,98	97,9	20,21
ALLI	7,93	8,07	18	//	//	967	260	242	0,93	100,3	19,97
ALLI	7,85	8,05	20	//	//	960	280	240	0,92	100,0	20,00
HONEY	7,66	7,74	8	7,96	//	860	210	210	0,91	97,6	20,25
HONEY	7,93	7,96	3	//	//	897	235	232	0,90	100,6	19,94
HONEY	8,06	8,06	0	8,07	//	900	230	230	0,91	99,5	20,05
CORGOS	7,94	8,12	18	//	//	922	235	232	0,99	101,3	19,87
CORGOS	7,92	8,00	8	//	//	922	260	237	0,87	104,2	19,60
CORGOS	7,91	8,05	14	//	10	885	222	219	0,99	101,9	19,63
CONLEY	8,06	8,08	2	//	20	935	230	220	0,96	99,7	20,03
CONLEY	8,12	8,15	3	//	20	887	227	227	1,00	101,9	19,81
CONLEY	8,12	8,12	0	//	25	890	225	230	1,02	100,0	20,00
SZALMA	8,08	8,19	13	8,21	//	960	245	229	0,86	100,3	19,97
SZALMA	8,12	8,12	0	8,14	//	970	288	220	0,78	100,5	19,95
SZALMA	8,09	8,09	0	8,12	//	965	245	215	0,81	100,3	19,97
GRIMES	8,23	8,25	2	//	20	908	245	203	0,88	101,0	19,90
GRIMES	8,29	8,31	2	//	5	993	290	218	0,87	99,2	20,08
GRIMES	8,29	8,30	1	//	5	915	240	230	0,88	100,0	20,00
GRIMES	8,17	8,17	0	//	15	990	235	200	0,86	100,2	19,97

Tab. 6 Dati degli ultimi 4 passi

Legenda della tabella:

- (A) Misura ufficiale del salto
- (B) Misura del salto dal punto effettivo di stacco
- (C) "Perdita" (cm) allo stacco (differenza tra A e B)
- (D) Misura effettiva del salto prendendo in conto lo scostamento laterale dell'atleta in fase di atterraggio rispetto all'asse della rincorsa e della pedana
- (E) Perdita in fase di caduta (cm): differenza tra segno dei piedi nella sabbia e segno del bacino o delle mani, una perdita dovuta quasi sempre a una non perfetta impostazione del centro di massa allo stacco¹⁰.
- L'inevitabile scostamento laterale dell'ultimo passo contribuisce a una ulteriore riduzione della velocità sia orizzontale che verticale.
- Sulla lunghezza degli ultimi 4 passi di rincorsa si possono fare alcune considerazioni: interessante è la differenza tra le misure che si riferiscono ai soli due salti eseguiti da Lewis: nel secondo salto l'atleta si trova al quart'ultimo passo 68 cm più indietro rispetto al primo salto ed è costretto a coprire con quattro passi una distanza di 10,60 metri prima dello stacco, impresa che l'atleta porta a termine senza apparente difficoltà nonostante un penultimo passo di 3 metri.
- Si noti l'accerchiamento dell'ultimo passo rispetto al penultimo, attuato con rare eccezioni dai saltatori in lungo e coerente con la bibliografia⁸.

Un'altra caratteristica tipica dei lunghisti è la brevità della fase di volo nell'ultimo passo rispetto ai precedenti.

I tempi di esecuzione dell'ultimo passo sono molto ridotti rispetto ai precedenti, come evidenziato nella Tab. 7, che mostra i tempi degli ultimi quattro passi per alcuni salti.

atleta	misura	Tempi passo (millesimi di secondo)				Tempi di volo (fase aerea)		
		4	3	2	1	Penultimo	Ultimo	U/P
LEWIS	8,42	234	262	294	213	181	105	0,58
GRIMES	8,23	233	221	254	176	137	65	0,47
HONEY	8,06	214	209	248	188	137	69	0,50
SZALMA	8,09	250	237	274	205	155	74	0,48
CONLEY	8,12	222	224	234	218	103	73	0,71
ALLI	7,89	229	221	261	223	155	102	0,66
CORGOS	7,94	239	231	245	202	127	81	0,64

Tab. 7 Tempi degli ultimi 4 passi

Si nota come la fase aerea dell'ultimo passo si riduce al 50-70% rispetto ai passi precedenti.

Conclusioni sugli ultimi passi, conseguenze del caricamento (i dati rientrano nella logica della preparazione alla fase di stacco):

- abbassamento del CM che può arrivare a 10 cm
- aumento del tempo della fase di appoggio a terra del piede nel penultimo
- brevità della fase aerea dell'ultimo, con un tempo di volo che quasi si dimezza rispetto al penultimo
- arretramento del CM rispetto all'appoggio dei piedi, in questo caso è meglio dire che sono gli arti inferiori a passare davanti, piuttosto che è il bacino a rimanere indietro, non essendoci una perdita di velocità apprezzabile
- penultimo passo: il caricamento inizia sul penultimo passo grazie ad un allungamento dello stesso rispetto ai precedenti, per un appoggio più avanzato del piede che viene lasciato "scivolare" in avanti anziché "portato sotto" come nei passi normali. Ne consegue anche un aumento del tempo di contatto del successivo appoggio.

Il "rimbalzo" di Gary Honey



Fig. 2 Gli ultimi due passi di Honey

Gli ultimi due passi della rincorsa di Honey (qui il salto di 8.06) presentano una variante tecnica particolare, che mi piace definire come un "rimbalzo":

Il dettaglio della gamba destra che passa davanti alla sinistra prima che questa tocchi terra e il successivo brevissimo tempo di volo nel passo finale, sono una caratteristica nei salti dell'australiano, già rivista in passato in alcuni salti di Bob Beamon a Città del Messico 1968; l'efficacia di questa variante tecnica sulla prestazione meriterebbe un'analisi più approfondita con mezzi più adeguati.

Lo stacco e il salto

I dati cinematici del salto vengono determinati con le note formule della fisica e della biomeccanica, considerando che il salto in lungo è una parabola, traiettoria caratteristica di tutti i gesti sportivi.

Il moto parabolico è descritto con precisione dalla:

$$[\text{Eq 1}] \quad L = \frac{\sin(2\alpha) * V_r^2}{g}$$

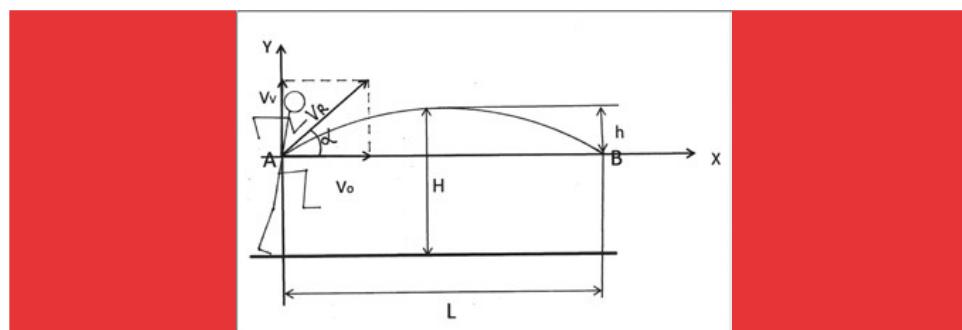


Fig. 3 Moto parabolico

e dalle due equazioni delle coordinate di un qualsiasi punto della traiettoria x (orizzontale) e y (verticale) che si esprimono con le seguenti eguaglianze:

$$[\text{Eq 2}] \quad x = V_r * t * \cos\alpha$$

$$[\text{Eq 3}] \quad y = V_r * t * \sin\alpha - 0.5 * g * t^2$$

Dove (Fig. 3):

L = lunghezza della parabola

g = accelerazione di gravità = 9.81 m/sec²

α = angolo di stacco

V_r = velocità di uscita o di stacco

H = altezza massima della parabola (da terra)
 h = altezza del volo rispetto alla quota di stacco
 V_v e V_o = componenti verticale e orizzontale della velocità.

Le tre equazioni dimostrano che la posizione del CM dell'atleta è definita istante per istante dai valori iniziali (allo stacco) dalla velocità di uscita V_r e dall'angolo di uscita α , e che quindi tale posizione non può essere modificata durante il salto da eventuali spostamenti di segmenti corporei.

La posizione del CM non può essere modificata durante il salto¹.

Quindi la scelta di uno tra i diversi stili di salto adottati oggi (hang, 1/2/3 e mezzo, veleggiato, ecc.) non contribuisce in alcun modo ad allungare la traiettoria del CM e serve unicamente a preparare l'atleta per un migliore atterraggio nella sabbia.

Analogamente un eventuale errore di rotazione imposto al momento dello stacco¹¹ non può essere corretto durante il volo (principio di conservazione del momento angolare).

Sempre dalla Eq.1 si deduce che un aumento dell'angolo di stacco dell'1%, a parità di velocità, porta a una maggior lunghezza del salto di 6 cm; mentre un aumento della velocità di uscita, a parità di angolo di stacco, sempre dell'1%, allunga il salto di 14 cm.

E quindi più vantaggioso un miglioramento percentuale della velocità rispetto al miglioramento della stessa percentuale dell'angolo di stacco.

Perdita di velocità e di energia allo stacco

Tra la velocità di entrata e quella di uscita (VR di Fig. 3) si registra una perdita di velocità dell'ordine di 0,5-1,5 m/sec², in parte a causa del caricamento per la preparazione allo stacco e in parte per il cambio di direzione del CM (angolo di stacco).

La perdita di velocità comporta una perdita di energia.

Un cambio di direzione nel moto (conseguente all'angolo di stacco) determina una perdita di velocità che è proporzionale all'angolo di stacco.

Un atleta che "entra" con una velocità di 10 m/s perde circa il 10% di velocità allo stacco (vedere anche Tab. 8) e di conseguenza il 20% di energia, essendo: E (cinetica) = $1/2 * \text{Massa} * V^2$.

Angoli di stacco di 45° rispetto ai tradizionali 19°-25°¹², in accordo all'Eq.1, allungherebbero la lunghezza del salto di oltre 2 metri, ma per ottenere uno stacco a 45° occorrerebbe l'egualanza tra velocità verticale e orizzontale allo stacco, evento compatibile solo con una velocità di entrata più ridotta, come avviene nel salto in alto.

Determiniamo quindi i tre parametri del salto (Fig. 3):

- Lunghezza della parabola L

- Angolo di stacco α

- Velocità di stacco V_r , V_o , V_v

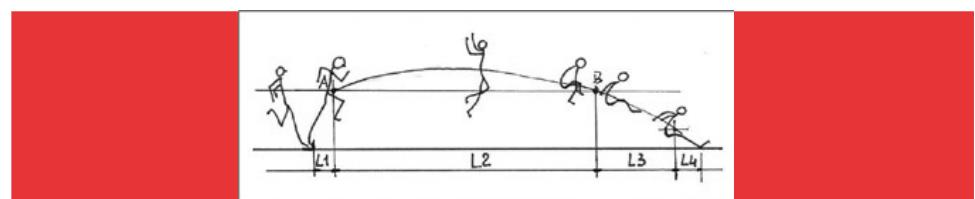


Fig. 4 Composizione della parabola

La lunghezza complessiva del salto L è composta dalla somma delle quattro componenti L1-L4 (Fig. 4), dove:

L1 = Distanza orizzontale del CM tra il limite della pedana e l'istante dello stacco

L2 = Distanza A-B in figura della parte superiore della parabola dove B è l'intersezione del CM con l'asse orizzontale che passa da A

L3 = Come da figura

L4 = Distanza orizzontale del CM all'istante del contatto dei piedi con la sabbia e il segno della misurazione lasciato nella sabbia.

La lunghezza L2 viene determinata graficamente con misura in scala, rapportata alla lunghezza complessiva nota del salto L (Fig. 5, salto di Lewis).

Gli altri due valori (angolo di stacco e velocità) vengono determinati dalla risoluzione delle equazioni che descrivono il moto parabolico.

Il salto di 8.55 di Carl Lewis

Il volo di Lewis viene risolto col metodo grafico-analitico della traiettoria del centro di massa del corpo nella fase di volo, metodo abbastanza preciso e semplice. Per questo è sufficiente conoscere due grandezze: la lunghezza del volo L_2 e il tempo di volo.

Tracciamo il contornogramma dello stacco e del volo di Lewis (Fig. 5), in opportuna scala.

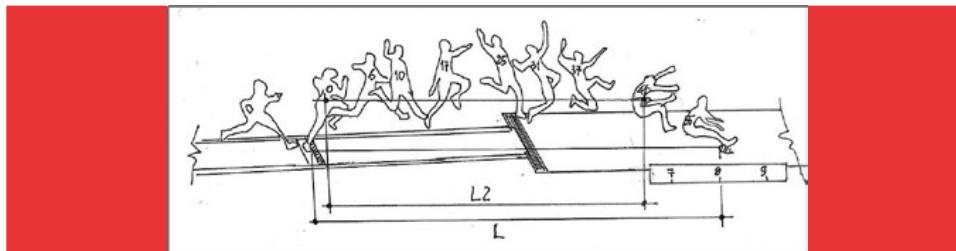


Fig. 5 Contornogramma del salto di Lewis di 8.55

Nota: in Fig. 5 è evidente lo scostamento laterale dell'atleta in fase di atterraggio rispetto all'asse pedana.

Errore di lettura

I numerini in figura si riferiscono ai fotogrammi, con inizio (fg 0) allo stacco. L'eventuale errore di lettura nella determinazione del fotogramma esatto del termine parabola L_2 corrisponde a 1 fotogramma (errore circa 2%). La procedura per la ricerca dei parametri è conforme al metodo adottato da Vladimir Popov¹⁴.

Il tempo di volo è noto dal conteggio dei fotogrammi rapportato alla velocità di ripresa.

Il tratto L_2 viene calcolato graficamente riportando in scala i fotogrammi del salto di 8.55 di Carl Lewis, rapportati alle lunghezze note del salto e della distanza dell'asse di battuta dalla sabbia.

Il fg 47 rappresenta l'intersezione del tratto L_2 con l'asse orizzontale passante per il CM allo stacco. La lunghezza tra i fg 0 e 47 risulta quindi, in rapporto alla lunghezza L nota: $L_2 = 6.67$ m

Essendo la velocità orizzontale costante durante il volo si ha:

$6.67/47 = 0.142$ m/fg avanzamento in metri del CM corrispondente a ogni fotogramma.

Si ottiene inoltre dal filmato il numero di fotogrammi corrispondenti agli altri segmenti del salto:

$$L_1 = 2.5 \text{ fg} * 0.142 \text{ m/fg} = 0.36 \text{ m}$$

$$L_3 = 8 \text{ fg} * 0.142 = 1.14 \text{ m}$$

$$L_4 = 8.55 - (0.36+6.67+1.14) = 0.38 \text{ m}$$

Conoscendo il valore di L_2 si risolvono le [Eq 2] e [Eq 3] ottenendo i risultati cercati.

Sapendo che (Popov, [Ref. 1]):

$$- \text{per } x = L_2 = 6.67 \text{ y} = 0 \text{ t} = T_2 = 47 \text{ fg} / 62 \text{ f/s} = 0.758''$$

Dalla [2] $VR = L_2 / (T_2 * \cos\alpha)$ che, sostituita nella [3]:

$$Tg\alpha = g * T_2^2 / (2 * L_2) \text{ da cui:}$$

$\alpha = 22,90^\circ$, $V_R = 9.55 \text{ m/s}$ sono i dati cinematici del salto di Carl Lewis.

Da questi valori si ottengono le due componenti della velocità:

$$V_v = V_R * \sin\alpha = 3.72 \text{ m/s} \text{ Velocità verticale allo stacco}$$

$$V_o = V_R * \cos\alpha = 8.80 \text{ m/s} \text{ Velocità orizzontale allo stacco}$$

A completare l'analisi l'altezza del volo (altezza parabola L_2 , Fig. 3):

$$[Eq 4] h = g * T_2^2 / 8 = 0.70 \text{ m}$$

e la perdita di velocità allo stacco (differenza tra velocità di entrata e V di uscita) = $10.42 - 9.55 = 0.87 \text{ m/s}$ (pari all'8.34%).

Il salto di 8.23 di Grimes

Si procede analogamente a quanto fatto per il salto di Lewis, ma in modo più sintetico, riportando solo i risultati conclusivi.

Questo salto è stato analizzato in quanto presenta valori estremi dell'angolo di stacco, oltre a tempi di volo molto elevati.

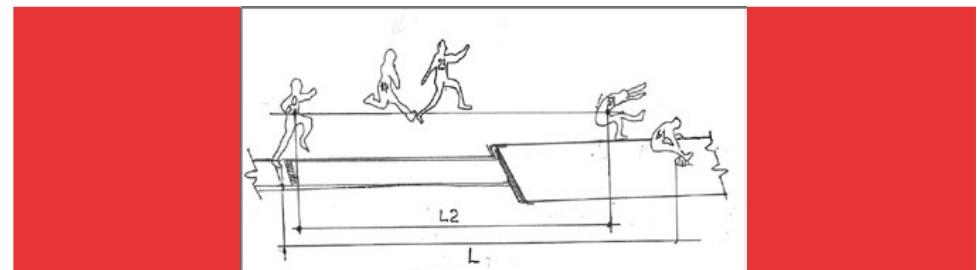


Fig. 6 Il salto di Grimes 8.23

Con riferimento alla Fig. 6 si misura in scala $L_2 = 6.65$ m rispetto alla lunghezza nota $L = 8.23$.
L2 corrisponde a 51 fotogrammi, con un avanzamento di:

$$6.65/51 = 0.130 \text{ m/fg: avanzamento in metri del CM corrispondente a ogni fotogramma.}$$

Sapendo che:

$$- \text{per } x = L_2 = 6.65 \text{ y} = 0 \text{ t} = T_2 = 51 \text{ fg} / 62 \text{ f/s} = 0.822''$$

Dalle due equazioni [2] e [3] si ottiene, ponendole nell'uguaglianza:

$$Tg\alpha = 9.81 * 0.8222 / (2 * 6.65) \text{ da cui } \alpha = 26,4^\circ$$

$$V_R = 665 / (0.822 * \cos(26.4)) \text{ da cui } V_R = 9.03 \text{ m/s}$$

Ne conseguono:

$$V_v = V_R * \sin\alpha = 4.01 \text{ m/s} \text{ Velocità verticale allo stacco}$$

$$V_o = V_R * \cos\alpha = 8.09 \text{ m/s} \text{ Velocità orizzontale allo stacco}$$

L'altezza del volo (altezza parabola L_2 , Fig. 3):

$$h = g * T_2^2 / 8 = 0.83 \text{ m}$$

e la perdita di velocità allo stacco (differenza tra le velocità di entrata e di uscita) = $9.90 - 9.03 = 0.87 \text{ m/s}$ (pari all'8.78%).

Nota: l'angolo di uscita di Grimes ($26,4^\circ$) è molto elevato, ma è coerente con il suo tempo di volo (Tab. 8) che risulta ampiamente il più alto tra tutti i salti analizzati. Grimes rimane in volo per quasi un secondo, molto più di Carl Lewis che presenta una misura maggiore, e questo implica un maggior angolo di stacco (e una maggior altezza raggiunta dal CM).

Tempi di volo

Considerazioni sul tempo impiegato dallo stacco fino al tocco della sabbia e i suoi rapporti con velocità e angolo di stacco. Questi valori sono elencati nella Tab. 8 per diversi salti, con le corrispondenti velocità di entrata, che variano tra i 10.42 m/s di Lewis e i 9.60 di Corgos.

Ammettendo in prima approssimazione che la chiusura del salto non sia molto diversa da un saltatore all'altro, possiamo assumere che il tempo T_2 della parabola principale (Fig. 7) sia una frazione costante del tempo di volo.

Si veda in Tab. 8 come velocità di entrata e tempo di volo siano in stretta relazione (a parità di misura). Chi "entra" molto veloce (Lewis, Honey) ha in genere un tempo di volo basso, cioè una traiettoria schiacciata. Atleti più potenti sacrificano la velocità di entrata a favore di angoli di stacco maggiore, e conseguente maggior velocità verticale.

I due salti di Lewis (8.55 e 8.42) presentano la stessa velocità di entrata di 10.42 m/s, ma nella seconda prova, un penultimo passo di 3 metri per aggiustare la rincorsa ha compromesso l'efficacia dello stacco con un ridotto angolo di stacco rispetto alla prima prova.

I valori dei tempi di Conley sono molto elevati, ma del tutto fuori standard sono quelli di Grimes, con angoli di stacco decisamente anomali.

Gli altri salti

Un'analisi semplificata, ma attendibile sui risultati, è stata condotta per determinare i valori del salto (angolo di stacco, velocità di stacco, altezza parabola) anche per prestazioni degli altri finalisti.

I valori sono riportati in Tab. 8.

Il metodo si basa sulle seguenti due considerazioni:

- Il tempo T2 della parabola A-B è una frazione pressoché costante del tempo di volo (assumiamo il valore dell' 85%).

Nei due casi analizzati di Lewis e Grimes, che sono i due casi estremi per quanto riguarda l'angolo di stacco, questi valori sono rispettivamente pari al $0.758'' / 0.877'' = 0.86$ per Lewis e $0.822 / 0.971 = 0.85$ per Grimes.

- La lunghezza L2 della parabola nel settore di traiettoria A-B (Fig. 7) è una frazione quasi costante della lunghezza totale del salto L (assumiamo il valore dell' 80%).

Nei due casi analizzati si hanno questi valori:

$$6.67 / 8.55 = 0.78 \text{ per Lewis}$$

$$6.65 / 8.23 = 0.81 \text{ per Grimes}$$

Il secondo valore viene maggiormente influenzato dal tipo di salto e soprattutto da come viene eseguita la chiusura. Nei salti con maggior altezza di parabola **h** la lunghezza della stessa è una percentuale maggiore rispetto ai salti che presentano una velocità di stacco maggiore e una altezza minore.

Sulla base di queste due assunzioni sono stati calcolati i parametri cinematici degli altri salti, completando così l'analisi della gara.

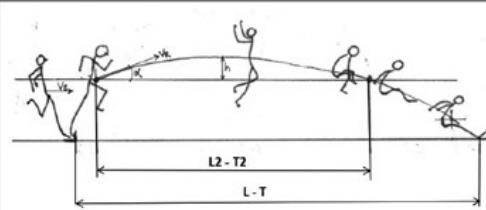


Fig. 7

L'angolo di uscita α e la velocità di uscita V_R sono calcolate assumendo come valori di partenza per il tempo T2 e la lunghezza L2 del tratto A-B i valori approssimati: $T2 = 0.85 T$, $L2 = 0.80 L$



Filippo Randazzo, Giochi olimpici, Tokyo 2020

atleta	misura	Velocità Entrata	Velocità Uscita	Pendita Velocità	Tempo di volo T	Tempo di volo T2	Altezza parabola	Angolo di stacco
	L [m]	V_E (m/s)	V_R (m/s)	m/sec	%	± 100	± 100	α
LEWIS	855	10,42	9,54	0,88	8,45	87,7	75,8	20,93
LEWIS	842	10,42	10,11	0,91	2,99	885	71,0	61,8
ALLI	789	10,21	9,72	0,49	4,80	81,5	69,3	20,46
ALLI	789	9,97	9,27	0,70	7,04	87,1	71,0	67,2
ALLI	785	10,00	9,45	0,55	5,45	84,2	71,6	21,80
HONEY	785	10,25	9,82	0,43	4,18	80,0	68,0	56,7
HONEY	793	9,94	9,41	0,53	5,32	85,8	72,9	65,2
HONEY	806	10,05	9,71	0,34	3,36	83,7	71,1	62,1
CORGOS	7,94	9,87	9,37	0,50	5,09	86,3	73,4	66,0
CORGOS	7,92	9,60	9,35	0,25	2,64	86,6	73,6	66,4
CORGOS	7,91	9,63	9,29	0,34	3,56	87,1	74,0	67,2
CONLEY	806	10,03	9,31	0,69	6,87	885	75,2	69,4
CONLEY	812	9,81	9,15	0,66	6,69	91,9	78,1	74,8
CONLEY	812	10,00	9,30	0,70	7,03	85,8	76,3	71,4
SZALMA	808	9,97	9,36	0,61	6,14	885	75,2	69,4
SZALMA	812	9,95	9,62	0,33	3,30	85,5	72,7	64,8
SZALMA	809	9,97	9,57	0,40	4,01	85,8	72,9	65,2
GRIMES	829	9,90	9,03	0,87	8,79	97,1	82,2	82,9
GRIMES	829	10,08	9,38	0,70	6,92	90,8	77,2	78,0
GRIMES	829	10,00	9,07	0,99	9,34	96,0	81,6	81,7
GRIMES	817	9,97	9,03	0,94	9,47	94,8	80,6	79,6

Tab. 8 Valori cinematici di tutti i salti di Helsinki

5. L'IMPRESA DEL XX SECOLO: IL SALTO DI 8.90 DI BOB BEAMON A CITTÀ DEL MESSICO 1968

Se Carl Lewis può essere considerato l'atleta più rappresentativo del XX secolo per la quantità e continuità di successi internazionali e di risultati ottenuti nella sua lunga carriera nella velocità in lungo, è indubbio che l'impresa più incredibile e imprevedibile del secolo è il salto di 8,90 metri realizzato da Robert "Bob" Beamon il 10 ottobre 1968 a Città del Messico nella finale olimpica del salto in lungo.

Pillole di storia

Migliorare il record mondiale di questa specialità di 55 cm in un colpo solo (il 6,6%) è un'impresa che non ha precedenti, non solo in questa specialità. E' come se oggi un saltatore atterrasse a 9,50, una misura 55 cm superiore all'attuale record del mondo (Powell 8,95), anche se le condizioni in quella gara del 1968 erano perfette e ineguagliabili: il vantaggio dell'altura, il tartan della pista (una delle novità di questa grandissima edizione dei Giochi), il vento a favore al limite della norma (2,00 m/s) e uno stacco al limite del nullo.



Fig. 8 Livellazione sabbia

Beamon si era presentato a questa gara non come grande favorito, ma tra i candidati alla medaglia in un lotto di atleti che si giocavano il titolo quasi con le stesse possibilità di salire sul podio: in pedana i primatisti mondiali con 8.35 Ralph Boston (USA) e Igor Ter Ovanesian (URSS), oltre a Lynn Davies, campione olimpico quattro anni prima a Tokyo e agli altri "ottometristi" Beer, Lepik e Crawley.

Lo stesso Beamon vantava un personale di 8.33 ottenuto il 20 giugno a Sacramento a due centimetri dal mondiale e aveva poi vinto le selezioni USA con 8.39, inficiato dal vento oltre il limite (+3.2m/s).

A Città del Messico, il giorno prima, nel turno eliminatorio aveva "pasticciato" con la rincorsa, rischiando molto. C'era voluto il terzo salto, dopo due nulli, perché si guadagnasse il diritto di accedere alla finale: un 8.19 di sicurezza lasciando allo stacco almeno 15 cm, un salto che già lasciava intendere il suo potenziale. Meglio di lui il suo "maestro" Boston con 8.27 al primo tentativo.

Il giorno dopo, la finale. Il modernissimo sistema di lisciatura della sabbia ideato per l'occasione (Fig. 8) si è dimostrato inadeguato ed è stato prontamente sostituito dai tradizionali livellatori a mano.



Fig. 9 Misurazione

Il primo salto di Beamon ha subito congelato la gara, lasciando gli avversari annichiliti e consapevoli di poter competere ormai solo per la medaglia d'argento.



Fig. 10 Rotella

La misurazione del salto di Beamon è stata problematica (Fig. 9); lo strumento di nuova invenzione per leggere le misure da fuori buca si è dimostrato inadeguato per un salto così lungo, così si è ricorsi alla tradizionale rotella metrica (Fig. 10).

Le Olimpiadi messicane hanno introdotto molte novità tecniche, tra l'altro essendo i primi Giochi olimpici con il cronometraggio al centesimo di secondo, e da allora nasce la cronologia dei primati omologati con questa procedura.

Dopo il salto, Beamon, resosi finalmente conto di quello che aveva fatto, ha avuto un'inevitabile crisi di pianto, consolato dal compagno di squadra ed ormai ex primatista mondiale Ralph Boston (Fig. 11).



Fig. 11

Poi un violento temporale ha interrotto la gara. Alla ripresa Beamon si è cimentato nel suo secondo ed ultimo salto, sotto gli occhi di tutto il mondo e ne è uscita una modesta (per lui) misura di 8.04 che ha chiuso la sua gara, essendo ormai mentalmente scarico e totalmente appagato per l'impresa compiuta.

Metodi di analisi utilizzati



Fig. 12 Posizione cinepresa

Per l'analisi biomeccanica del salto si è fatto uso di una cinepresa semiprofessionale (Paillard-Bolex) con pellicola 16 mm e velocità di 74 f/s. Questo valore è stato confermato dal confronto con le riprese televisive della TV (Standard PAL 25 f/s).

Su questo dato si verificano i tempi di esecuzione dell'azione, mentre per le lunghezze si fa riferimento alle misure note dell'impianto sportivo, in particolare la distanza dell'asse di battuta dalla buca (4 metri), dello stacco del salto triplo dalla buca (12 metri) e la lunghezza nota dei salti.

Il filmato è realizzato dalla tribuna con visuale perpendicolare alla rincorsa, a una distanza di 35 metri dall'asse pedana e obiettivo a 4 metri oltre il limite della buca (Fig. 12).



Fig. 13 Stampa fotogrammi

I fotogrammi del filmato vengono quindi stampati su carta e numerati (Fig. 13) mantenendo i rapporti di scala tra le varie immagini, e il tutto viene analizzato compilando il contornogramma dello stacco e del volo per determinare la lunghezza della parabola; si utilizzano quindi le note equazioni della trigonometria e della fisica finalizzate alla ricerca dei parametri cinematici della prestazione (velocità di ingresso e di uscita, angoli di stacco, lunghezze del moto parabolico).

Considerando che viene utilizzata una sola cinepresa e che la posizione dell'atleta, rispetto all'obiettivo, varia in ogni istante, sia come distanza dall'obiettivo che come angolo di visuale, opportune correzioni sulle misurazioni delle immagini stampate vengono applicate per correggere le misure prese in scala.

Gli ultimi tre passi

Si è ampiamente discusso sul fatto che gli ultimi tre passi della rincorsa siano stati determinanti per la prestazione e sul fatto che la loro lunghezza, in particolare quella esagerata dell'ultimo passo (Fig. 14 a, b, c), non rispecchia gli standard classici di questa specialità, che vede generalmente un ultimo passo più corto del penultimo e questo più lungo del terz'ultimo⁸ (si veda anche la Tab. 6 di questo report).

Nel caso di Beamon si ha un progressivo allungamento degli ultimi tre passi con l'ultimo molto lungo che comporta un caricamento esagerato, sia in verticale (abbassamento del centro di massa di almeno 10 cm) che in orizzontale, con un forte arretramento del busto.

Nonostante questa anomalia l'atleta è riuscito a non perdere velocità, che è addirittura cresciuta negli ultimi passi e a staccare con un elevato angolo di uscita.



Fig. 14 a, b, c: L'ultimo passo

Da notare in Fig. 14 b la gamba destra completamente distesa a cercare la pedana.

Questa esagerata apertura nell'ultimo passo fa sì che l'atleta arrivi allo stacco col tallone (Fig. 14 c), "errore" che dovrebbe comportare una certa frenatura e perdita di velocità. Ma questo non accade nel salto di Beamon.

In Tab. 9 la lunghezza degli ultimi passi in quattro salti di quell'evento analizzati per un confronto con il salto del record:

- il salto di 8,90
- il secondo salto di 8,04 di Beamon
- il salto di 8,27 in qualificazione di Boston
- il salto di 8,19 in qualificazione di Beamon

atleta	misura mt	Ultimi tre passi			perdita allo stacco cm	velocità media 3 passi m/s	
		3 passi mt	terz'ultimo mt	penultimo mt			
Beamon	8,90	7,52	2,38	2,46	2,68	0	10,10
Beamon	8,04	7,35	2,47	2,50	2,38	17	10,30
Boston	8,27	7,45	2,48	2,73	2,24	5	10,25
Beamon	8,19	7,05	1,91	2,60	2,54	15	10,45

Tab. 9 Gli ultimi tre passi

Con una certa approssimazione, dovuta alla difficoltà di definire con precisione la posizione del CM nei tre passi finali con i mezzi a disposizione, è stata determinata anche la velocità singolarmente dei tre passi nel salto di 8,90:

Terz'ultimo: 9,67 m/s

Penultimo: 9,81 m/s

Ultimo: 10,67 m/s

Questa distribuzione sembrerebbe a prima vista un po' anomala, con l'ultimo passo più veloce del penultimo, mentre la bibliografia corrente⁴ riporta il contrario; ma giova ricordare che il tempo di volo dell'ultimo passo è generalmente (vedere Tab. 7) molto ridotto, anche a meno del 50% rispetto ai due precedenti.

Lo stacco e il salto

In Fig. 15 la sequenza del salto di Beamon.

Questo atleta ha messo in mostra uno stile (o meglio...un "non stile") semplicissimo, estremamente naturale senza troppe sforbiciate, passi aerei e altri movimenti inutili a confermare che meno l'atleta si muove nella fase di volo, maggiori sono le possibilità di non danneggiare l'inerzia acquisita allo stacco.

L'intera azione è priva di rotazioni in avanti o indietro, grazie a uno stacco (15-1) senza eccentricità rispetto al CM: poi Beamon passa da una posizione "hang" (15-5) molto aperta a una posizione estremamente chiusa (15-13) in cui quasi la testa si posiziona in mezzo alle gambe che, rispetto alla più comune posizione a "L", permette il massimo sollevamento degli arti inferiori (per la nota legge di conservazione del momento angolare).

Nella fase discendente della parabola l'atleta "plana" verso la sabbia con una chiusura del salto perfetta e il bacino che passa appena sopra i talloni (15-20) senza intaccare la sabbia.

I dati cinematici del salto vengono determinati con le note formule della fisica e della biomeccanica.

Trascurando l'effetto della resistenza dell'aria il moto parabolico è descritto con precisione dalle tre equazioni descritte nell'analisi del salto di Carl Lewis (con riferimento alla Fig. 3):

$$[Eq 1] L = \frac{\sin(2\alpha) * V_R^2}{g}$$

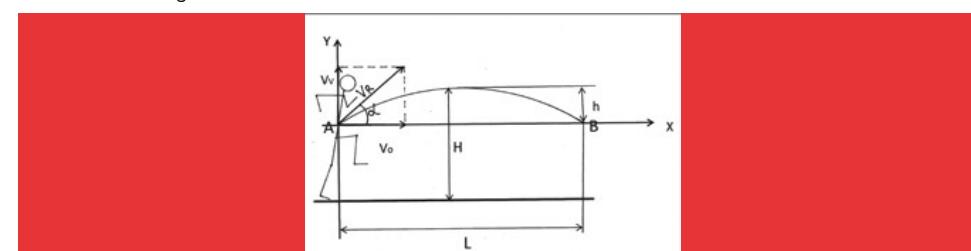


Fig. 3 Moto parabolico

e dalle due equazioni delle coordinate di un qualsiasi punto della traiettoria x (orizzontale) e y (verticale) che si esprimono con le seguenti eguaglianze:

$$[\text{Eq 2}] \quad x = V_R * t * \cos\alpha$$

$$[\text{Eq 3}] \quad y = V_R * t * \sin\alpha - 0.5 * g * t^2$$

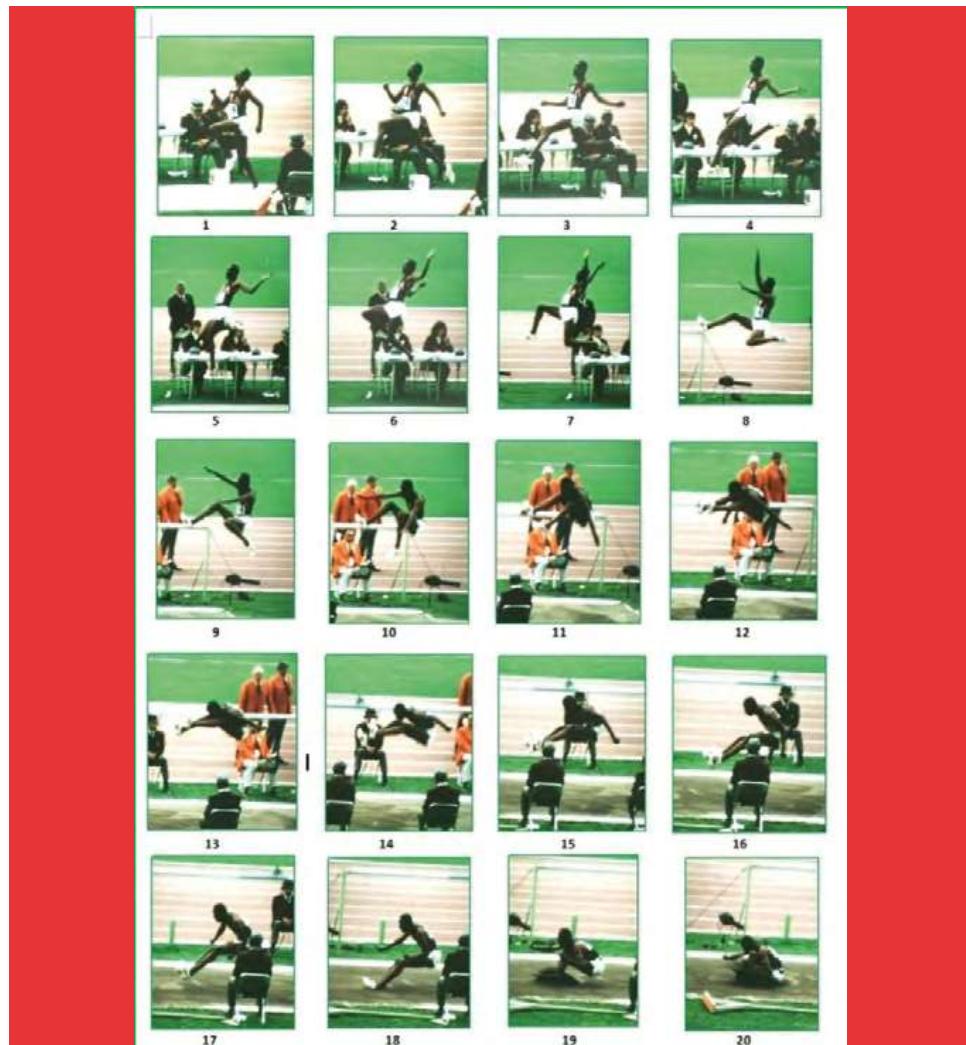


Fig. 15 Il salto di 8.90 di Bob Beamon

Si determinano i tre parametri del salto

- Lunghezza della parabola L_2

- Angolo di stacco α

- Velocità di stacco V_r , V_o , V_v (Fig. 3)

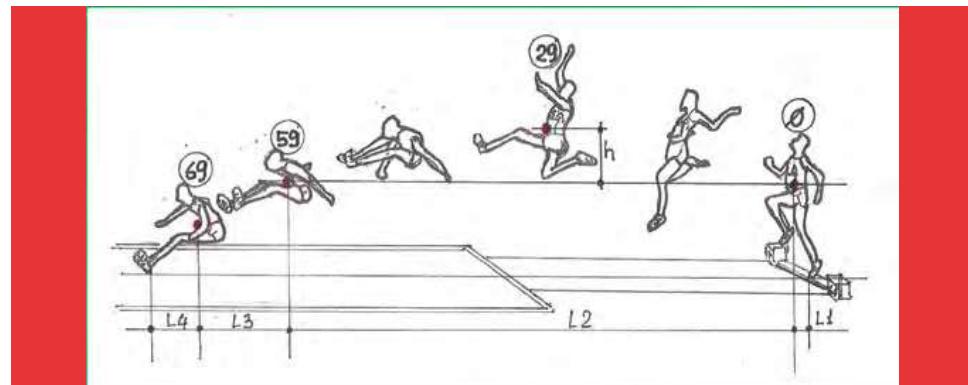


Fig. 16 Contornogramma del salto di 8.90

I numerini si riferiscono ai fotogrammi, assunto il fg 0 come quello iniziale.

Delle tre incognite da determinare la lunghezza L_2 della parabola principale viene determinata *graficamente* con misura in scala sul contornogramma del salto, rapportata alla lunghezza complessiva del salto (8.90) e alla distanza della pedata dalla sabbia (4.00m).

Gli altri due valori (angolo di stacco e velocità) si ottengono dalla risoluzione, con le abituali procedure della fisica, delle equazioni **[Eq 1, 2, 3]**.

Assunto come fg 0 quello iniziale (allo stacco) il fg 59 rappresenta l'intersezione del tratto L_2 con l'asse orizzontale passante per il CM allo stacco. La lunghezza tra i fg 0 e 59 risulta quindi, in rapporto alla lunghezza nota di 8.90 del salto, misurato in scala:

$$L_2 = 6.87 \text{ m e il tempo corrispondente a } L_2 \text{ vale } T_2 = 59/74 = 0.797''.$$

Essendo la velocità orizzontale costante durante il volo si ha:

$$6.87/59 = 0.116 \text{ m/fg: avanzamento in metri del CM corrispondente a ogni fotogramma.}$$

Dal conteggio dei fotogrammi si ottengono le lunghezze degli altri segmenti del salto:

$$L_1 = 2.5 \text{ fg} * 0.116 \text{ m/fg} = 0.29 \text{ m}$$

$$L_3 = 10 \text{ fg} * 0.116 = 1.16 \text{ m}$$

$$L_4 = 8.90 - (0.29 + 6.87 + 1.16) = 0.58 \text{ m}$$

Conoscendo il valore di L_2 si risolvono le equazioni (2) e (3) ottenendo risultati cercati.

Sapendo che:

$$- \text{per } x = L_2 = 6.87 \text{ y} = 0 \text{ t} = T_2 = 0.797''$$

dalle due equazioni (2) e (3) si ottiene, ponendole nell'uguaglianza:

$$\text{dalla [2]} \quad V_R = L_2 / (T_2 * \cos\alpha \text{ che, sostituita nella [3]:}}$$

$$T_2 \alpha = g * T_2^2 / (2 * L_2) = 9.8 * 0.797^2 / (2 * 6.87) \Rightarrow \alpha = 24.37^\circ$$

$$V_R = 6.87 / (0.797 * \cos(24.37)) = 9.46 \text{ m/s}$$

Ne consegue:

$$V_v = V_R * \sin\alpha = 3.90 \text{ m/s Velocità verticale allo stacco}$$

$$V_o = V_R * \cos\alpha = 8.62 \text{ m/s Velocità orizzontale allo stacco}$$

A completare l'analisi l'altezza del volo (altezza parabola L_2 , Fig. 3):

$$[\text{Eq 4}] \quad h = g * T_2^2 / 8 = 0.78 \text{ m}$$

e la perdita di velocità allo stacco (differenza tra velocità di entrata e V di uscita) = $10.67 - 9.46 = 1.21 \text{ m/s}$

Tempi di volo

Qui i tempi di volo dei 4 salti, dallo stacco fino al contatto con la sabbia.

	Misura	Tempo (s)
Beamon	8,90	0,932"
Beamon	8,04	0,804"
Boston	8,27	0,851"
Beamon	8,19	0,858"

È interessante notare che il tempo totale di volo di Beamon nel salto di 8,90 è di 0,932, inferiore a quello di Jason Grimes che nel suo salto di 8,23 ad Helsinki (molto più corto, quindi) è rimasto in volo per 0,971". Il motivo sta nell'angolo di stacco, che nel caso di Grimes raggiunge valori (oltre 26°) più alti rispetto a Beamon, che comunque presenta un angolo di stacco che si posiziona nella parte alta del range di questo parametro.

Conclusioni

Ho eseguito questo lavoro inizialmente per mio interesse personale.

La ricerca dei parametri cinematici del salto in lungo (velocità, tempi, lunghezze, perdite di energia e soprattutto angoli e velocità di stacco) ha sempre destato il mio interesse, come il confronto e la conferma dei dati trovati con quelli della bibliografia su questo argomento.

I mezzi da me adattati per questi studi sono ridotti all'essenziale: una cinepresa semiprofessionale (Bolex) con velocità tra i 50 e i 100 f/s, i riferimenti dei tempi in funzione della velocità di ripresa, le misure metriche dedotte da quello che offre il campo di gara (misura della prestazione, distanza della pedana dalla sabbia, larghezza pista e corsie).

Le riprese sono state effettuate sempre dalla tribuna e in totale mancanza di attrezzature di campo e di laboratorio più idonee, come la video analisi, per i successivi studi.

Nonostante tutto i risultati ottenuti mi soddisfano in quanto sono in genere in linea con i dati che ho reperito da analisi biomeccaniche più professionali e moderne.

Il salto di 8,90 di Bob Beamon ha destato sin da subito il mio interesse soprattutto per la distribuzione degli ultimi tre passi della rincorsa, che appaiono decisamente al di fuori di ogni standard abituale per prestazioni di questo livello. Ancora oggi mi chiedo come l'atleta abbia potuto, con un ultimo passo così esagerato in lunghezza e un conseguente eccessivo caricamento, ben evidenziato dai fotogrammi (Fig. 14), non perdere velocità e soprattutto riuscire a staccare con un angolo di uscita così elevato.

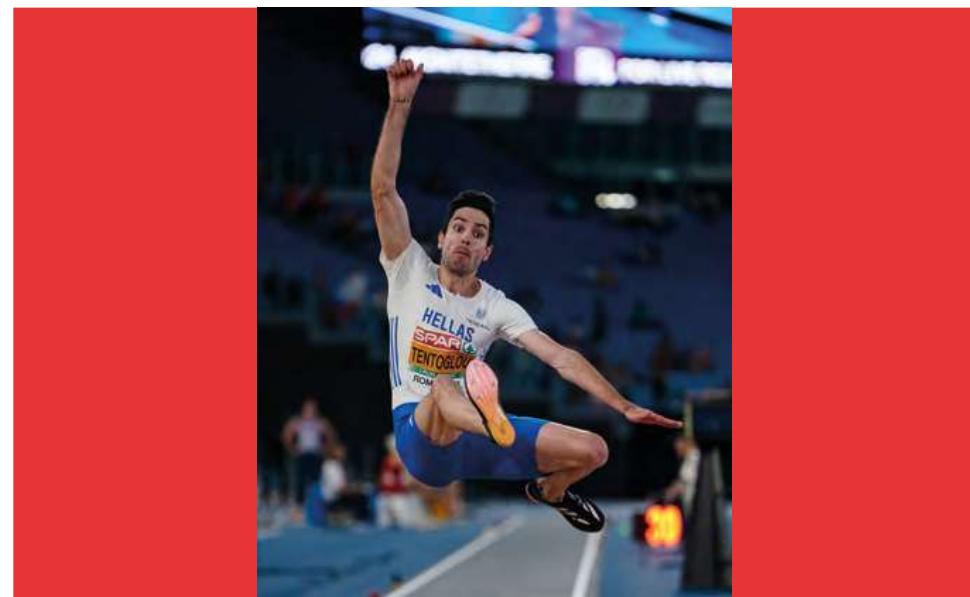
Per questo salto non è facile trovare altri riferimenti per confermare i dati cinematici ricavati dalla presente analisi, trattandosi di un evento eccezionale e, direi, imprevedibile.

Nella Tab. 10 il confronto tra i dati ricavati da questo studio e quelli proposti da V. Popov nel 1971 e ripresi da diversi autori, tra cui D. Donskoy¹⁵.

	Velocità entrata	angolo di stacco	Altezza volo	Lunghezza parabola L2
	m/s	gradi	m	m
Questo studio	10,67	24,37°	0,78	6,87
D. Donskoy	10,7	24°	0,75	6,74

Tab. 10 Dati cinematici del salto di 8,90

I dati dei due studi appaiono congruenti e allineati.



Miltiadis Tentoglou, Campionati europei, Roma 2024

RIFERIMENTI

- 1 James Hay, Ron Canterna, Jhon Miller - The University of Iowa - A biomechanical analysis of the technique of Jason Grimes- Appendix A: Methods used to gather data - 1983
- 2 ATFS Members - The first world championships in athletics - Updating statistics for the entry lists - 1983
- 3 Vladimir Popov - Tecnica del salto in lungo - Analisi dello stacco e del volo di alcuni specialisti, Pag. 45 - 1962
- 4 E.Nixdorf; P.Brugeaman - Biomechanical Analysis of the long jump - Table 3 - 1987
- 5 Renato Canova - Atletica Leggera N. 347 - Radiografia dei 100 più veloci della storia - 1988
- 6 Geoffrey Dyson - The mechanics of Athletics - Jumping (Chapter eight) - 1963
- 7 E.Nixdorf; P.Brugeaman - Biomechanical Analysis of the long jump - Tables 3/12 - 1987
- 8 The University of Iowa - A biomechanical analysis of the technique of Jason Grimes - Comparative data - Stride Lengths - 1983
- 9 Vladimir Popov - Tecnica del salto in lungo - Lo stacco, tab. pag. 33 - 1962
- 10 Atletica Leggera N. 287 - H.R.Kunz, G.Gladic, R.Sieber - La biomeccanica del salto in lungo - 1983
- 11 Geoffrey Dyson - Principi di Meccanica in Atletica - Salto in lungo, il volo - 1971
- 12 The University of Iowa - A biomechanical analysis of the technique of Jason Grimes - Change of CM's Velocity, Table 13 - 1983
- 13 James Hay - The biomechanics of Sports Techniques - Jumping, Table 26 - 1985
- 14 Vladimir Popov - Tecnica del salto in lungo - Metodo di analisi dello stacco e del volo, pag. 41 - 1962
- 15 D. Donskoy - Biomeccanica - La biomeccanica del salto, Tab. 9 - 1983