

Salto in lungo da fermo e moto parabolico

Costantino Sigismondi¹ (*ICRA/Sapienza, Liceo G. Ferraris, Roma*)

Abstract The parabolic motion is applied to the length of a standing long jump, and other dynamic parameters are studied. A verification with former olympic disciplines of standing long and high jump is made also on video.

Sommario Il moto parabolico è applicato alle misure di salti nel lungo e nell'alto da fermo per studiare altri parametri. Una verifica è fatta con le misure realizzate nelle antiche discipline olimpiche e sul record attuale.

Il salto in lungo da fermo come disciplina olimpica

Il lungo da fermo fu disputato alle Olimpiadi di Parigi del 1900 fino a quelle di Stoccolma nel 1912 e vide in Raymod Ewry, la «Rana Umana» l'interprete più celebre che fissò il record del mondo a 3.48 m nel 1904. Konstantinos Tsikliras² con 3.37 m vinse l'ultima gara olimpica nel 1912. In Norvegia la competizione è ancora svolta ufficialmente ed Arne Tvervaag (1968) ha saltato 3.71 m; mentre lo statunitense Byron Jones nel 2015 è arrivato a 3.73 m. Ray Ewry (1873-1937), che vinse 10 medaglie olimpiche (inclusa l'edizione intercalare di Atene 1906); alto 1.85 m per 79 Kg di peso forma, si era applicato fin da bambino ad esercizi isometrici per recuperare le conseguenze di una poliomelite che altrimenti lo avrebbe paralizzato, raggiunse una forza esplosiva tale da dominare la scena internazionale dai 26 ai 35 anni di età, tentò pure un rientro per la qualificazione per la quinta olimpiade nel 1912, a quasi 40 anni. Lavorò come ingegnere idraulico a New York. Vinse 8 ori olimpici individuali come nell'atletica solo Carl Lewis. Oggi il lungo da fermo viene considerato utile esercizio per sviluppare la forza esplosiva e la coordinazione, occasionalmente vengono svolte delle

1 Dopo la tessera di Tecnico (1989) l'autore ha conseguito anche la qualifica di Allenatore delle categorie Assolute presso la FIDAL Federazione Italiana di Atletica Leggera, con un elaborato finale proprio sul Salto in Lungo al corso di Schio (VI) del 1993 con 30/30 e lode.

2 https://en.wikipedia.org/wiki/Konstantinos_Tsikliras

competizioni come quella a cui ha partecipato l'autore allo stadio delle Terme di Caracalla a Roma il 25 aprile 1988 saltando 3.03 m, misura che a Parigi nel 1900 valeva il bronzo!

Differenziale in altezza e lungo da fermo: modello isocronico

Ai tempi del salto di 3.03 m, saltando verso l'alto da fermo avevo un differenziale di 76 cm³; con un fisico portato a queste discipline con 1.88 m per 80 Kg, praticamente uguale al Konstantinos olimpico del 1912.

Nella caduta libera l'equazione $h=\frac{1}{2}gt^2$ fornisce metà del tempo di volo per innalzarsi di $h=0.76$ m. $t=0.394$ s, da cui la durata del salto è 0.79 s. La velocità verticale massima è quella in partenza (e simmetricamente in atterraggio) e pari a $v=gt=3.86$ m/s. Assumo per semplicità di modello questo tempo di volo uguale a quello nel salto in lungo da fermo e derivo la velocità orizzontale, usando 3.03 m come lunghezza (record ufficiale in competizione FIDAL) $v=3.03/0.79=3.85$ m/s. Velocità orizzontale sviluppata nel salto in lungo da fermo e velocità verticale sviluppata nel salto in alto da fermo sono uguali. Ciò implicherebbe un angolo di stacco di 45° che è proprio quello di gittata massima nel moto dei proiettili.⁴

Fasi del salto e angolo di uscita nella parabola del baricentro

La combinazione salto record e massimo differenziale in altezza sembra spiegare in ottima approssimazione il salto. Di solito se il modello spiega bene i dati ci si accontenta, ma vediamo più in dettaglio le fasi del salto.

Nella fase di caricamento e spinta le braccia si muovono in parallelo prima all'indietro (caricamento) e poi in avanti (spinta) mentre le gambe si stendono, i piedi sono a contatto con il terreno e le scarpe chiodate ne evitano scivolate. Nella

3 Che diventavano 80 cm con rincorsa. 3.20 m era la massima altezza toccata con la mano, che arrivava a 2.44m fermo a braccia stese in alto.

4 Non emerge un angolo di stacco così alto dai filmati delle olimpiadi del 1912, si veda <https://www.youtube.com/watch?v=TBtQMbHOjls>

fase di stacco la proiezione del baricentro b arriva già ad una distanza dalla linea di partenza pari a $b\cos\theta$ con θ angolo di stacco con l'orizzontale, simmetrica all'atterraggio. La fase di volo parabolico è quando il saltatore non è più a contatto col terreno. Fase di atterraggio, dal primo contatto con la sabbia fino alla conclusione del movimento, dove si deve evitare di ricadere all'indietro.⁵ Il volo di Byron Jones⁶ nel 2015 dallo stacco all'atterraggio è durato 0.644 s.⁷ La velocità media dei piedi è stata di $3.73/0.644=5.8$ m/s. Il baricentro è partito dall'altezza del ginocchio 55 cm, alzandosi di 30 cm sopra la sua posizione normale 110 cm, fino a 140 cm, con un differenziale di 85 cm.

La velocità verticale necessaria per salire di 85 cm è 4.1 m/s.

L'angolo descritto dal vettore risultante con l'orizzontale è $\theta=\arctg(4.1/5.8)=35^\circ$.⁸ Lo stacco dura 0.26 s. La forza sviluppata nello stacco è stata $F\sim m\Delta v/\Delta t=90\cdot 7/0.26=2450$ N pari a 250 Kg.

Un modello isoenergetico per il salto in lungo da fermo

Byron Jones ha un differenziale di 1.13 m, che corrisponde a $E=mgh=90\cdot 9.8\cdot 1.13=1000$ J. Chi scrive aveva $E=80\cdot 9.8\cdot 0.76=600$ J. Assumendo che la forza sia proporzionale all'energia viene che Byron Jones è 1.66 volte più forte. Se la velocità $v^2\sim E$ come nella relazione dell'energia cinetica, anche le velocità orizzontali saranno nella stessa proporzione $v^2J\sim 1.66v^2S$, $vJ\sim 1.3vS$. La lunghezza del salto è una combinazione sia di velocità verticale che orizzontale e, a parità di esecuzione, dovrebbe risultare nella stessa proporzione delle velocità, mantenendosi uguale l'angolo di stacco. Con questa

5 La mia “chiusura” era particolarmente spettacolare, del tutto simile a quella fatta con la rincorsa e stilisticamente apprezzata dagli allenatori.

6 Alto 1m83 pesa 90 Kg <https://www.youtube.com/watch?v=n0UeHxglMJ4>

7 I video su youtube sono analizzati in ogni fotogramma con quicktime7.1

8 Il baricentro all'atterraggio è circa 30 cm dietro il punto di arrivo dei piedi, la sua velocità media è di $3.43/1.12=3.06$ m/s

proporzione nel 1988 l'autore avrebbe dovuto saltare 2.89 m.⁹

Record di lungo e quello di alto da fermo (o differenziale)

Atleta	Ray Ewry	Kostas Tsiklitiras	Costantino Sigismondi	Byron Jones
Lungo d.f. (anno)	3.48 m (1904)	3.37 m (1912)	3.03 m (1988)	3.73 m (2015)
Alto d.f. differenz.	1.675 m +58 cm	1.55 m +49 cm	– 0.76 m	– 1.13 m

Come si vede dal confronto tra i differenziali tra l'altezza del baricentro in piedi e nel salto in alto, risulta che tanto l'autore quanto l'atleta di football americano abbiano un valore maggiore dei due olimpionici, ma nel salto in alto da fermo entrano in gioco altre coordinazioni che limitano la trasformazione di energia potenziale in altezza del salto.

Conclusioni

Il salto in lungo da fermo è stato analizzato alla luce del moto parabolico, trovando un buon accordo tra modello isoenergetico e dati; anche la fase dinamica (stacco) è stata studiata. La maggiore statura +5 cm e l'ottima chiusura ha permesso all'autore di lambire ufficialmente la soglia dei 10 piedi, staccando la tessera dei «3 metristi», pur avendo un'energia elastica «assoluta» pari al 60% di quella di Byron Jones ed un salto teorico a parità di tecnica di $\sqrt{0.6}=0.77$ cioè del 77%. Il modello isocronico, col tempo di volo nello stacco verso l'alto (differenziale) riportato nel lungo, è più limitato: la velocità orizzontale del baricentro risulta simile a quella verticale, inferiore a quella dello stacco massimale verso l'alto come discende da considerazioni di bilancio energetico; l'angolo di stacco vale circa 35°. **Referenze** R. L. Quercetani, in *Conoscere l'Atletica*, vol. 2 p. 122 e ss., Rizzoli MI (1983).

⁹ Col differenziale di 0.80 m si calcola 2.96 m. Un atleta più alto di 5 cm può saltare $10 \cdot \cos(35^\circ) = 8$ cm di più: la chiusura fa guadagnare qualcosa.