

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

# RENDICONTI

---

RODOLFO MARGARIA, PIERO AGHEMO, EMILIO ROVELLI

## La lunghezza dei passi in funzione della velocità nella marcia e nella corsa

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 40 (1966), n.2, p. 194–200.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1966\\_8\\_40\\_2\\_194\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1966_8_40_2_194_0)>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

---

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma  
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*

*SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

**Fisiologia.** — *La lunghezza dei passi in funzione della velocità nella marcia e nella corsa*<sup>(\*)</sup>. Nota di RODOLFO MARGARIA, PIERO AGHEMO ed EMILIO ROVELLI, presentata<sup>(\*\*)</sup> dal Socio R. MARGARIA.

SUMMARY. — The length of the step is found to increase linearly with the average speed of progression both in walking and in running: only when running at top speed the step length increases at a slower rate. This function is substantially the same in walking as in running and it does not seem to be affected by the incline of the ground or by increasing the body mass with added weights. Two components of the step length are individuated: the first is a constant, independent of speed, and it amounts to about 0.3–0.4 m, the other is speed dependent and it is covered in a constant time of about 0.3 secs. The first component has probably the significance of a movement of translation of the body, sustained by the lower limbs, and it is therefore related to the dimensions of the body. The second component has been tentatively interpreted as due to the free fall period of the body, which is subjected to an upward push in the early part of the step: the constant time employed to cover this second phase of the step has then the significance of the parabola time. On this assumption, the height of the parabola being known, the gravitational force acting on the body is calculated and found to amount to a fraction only (ab. 0.45) of the acceleration of gravity. An increase of speed frequency can be obtained by increasing the gravitational force up to its maximum (9.81 m/sec<sup>2</sup>) or by decreasing the height of the parabola.

Da uno studio della meccanica della marcia è risultato che il lavoro necessario per sostenere le variazioni di velocità ad ogni passo è molto piccolo a bassa velocità di marcia, essendo il lavoro in questo caso sostenuto prevalentemente dal lavoro antigravitario, mentre aumenta notevolmente ad elevata velocità di marcia. Le variazioni di velocità che si hanno ad ogni passo aumentano linearmente con la velocità media [1]; e poiché esse sono ovviamente funzione della lunghezza del passo o della frequenza, interessa conoscere come varino questi caratteri in funzione della velocità media di marcia.

Scarse sono le osservazioni a questo riguardo: i fratelli Weber [2] hanno studiato i rapporti fra velocità e lunghezza e durata dei passi nella marcia in piano, e avrebbero riscontrato che, aumentando la velocità, la lunghezza del passo aumenta mentre ne diminuisce la durata. Secondo Marey questa legge vale solo fino ad una frequenza massima di passi di 150/min: aumentando ulteriormente la velocità di marcia e la frequenza dei passi, ad una ulteriore diminuzione della durata non corrisponderebbe un aumento della lunghezza [3].

Scholz riscontra che nella marcia in piano, per valori di velocità compresi fra 1,8 e 7,2 km/h, la frequenza dei passi è una funzione di tipo iperbolico della velocità media [4].

(\*) Dall'Istituto di Fisiologia Umana dell'Università degli Studi di Milano, e dal Centro di Fisiologia del Lavoro Muscolare e dello Sport del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

(\*\*) Nella seduta del 12 febbraio 1966.

Erickson e coll. [5] e A.C. Bobbert [6] rilevano che nella marcia a varie inclinazioni la frequenza dei passi dipende soltanto dalla velocità di progressione e non è significativamente influenzata dalla pendenza del terreno.

Da un'analisi dei dati dei protocolli sperimentali di Margaria [7] e di Scholz [4] la lunghezza dei passi, sia nella marcia che nella corsa, appare essere una funzione lineare della velocità (fig. 1).

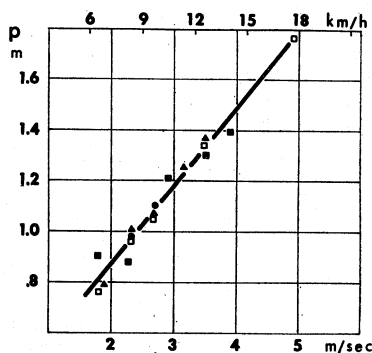


Fig. 1. - Lunghezza dei passi in funzione della velocità nella corsa da circa 7 a circa 18 km/h, in quattro soggetti, distinti da differenti simboli.

(Dati da R. MARGARIA, 1938).

Abbiamo perciò voluto estendere l'osservazione a diversi soggetti, atleti e non atleti, nella marcia e nella corsa a diversa inclinazione del terreno, sia in salita che in discesa.

#### METODO.

Gli esperimenti vennero compiuti su 10 soggetti che camminavano o correvano su un ergometro trasportatore di cui era nota l'inclinazione: la frequenza dei passi veniva rilevata con un contasecondi e la lunghezza del passo calcolata, essendo nota la velocità.

#### RISULTATI.

Anche in questi esperimenti la lunghezza dei passi nella marcia appare essere in tutti i soggetti una funzione lineare della velocità, quando questa sia superiore a 1,5 km/h.

La corsa può essere descritta da una funzione dello stesso tipo: soltanto a velocità elevate, superiori a 13 km/h per soggetti non atleti, la lunghezza del passo non aumenta più con lo stesso incremento, e la curva tende verso l'orizzontale.

Nella fig. 2 sono riportati i dati sperimentali per il soggetto P.A. La lunghezza del passo appare essere anche in questo caso una funzione rettilinea, che risulta essere sensibilmente la stessa per la marcia e per la corsa: soltanto, la linea per la corsa appare spostata verso il basso di 5-10 cm, mentre l'incli-

nazione delle due rette è uguale. Dati sostanzialmente dello stesso tipo sono stati riscontrati per tutti gli altri soggetti.

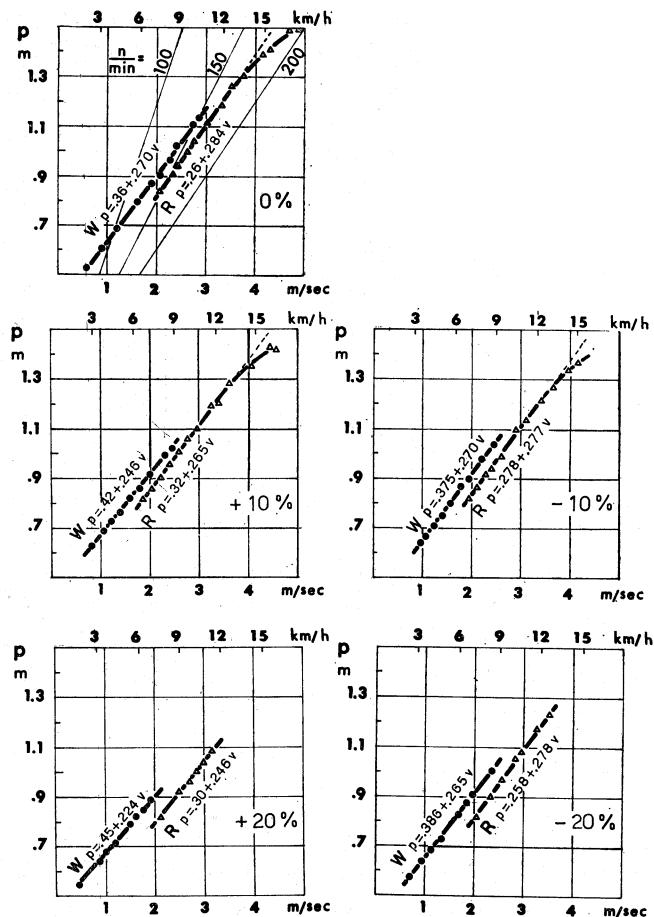


Fig. 2. - Lunghezza del passo, in m, in funzione della velocità media di progressione, in m/sec, nella marcia (W) e nella corsa (R) a diversa inclinazione del terreno, in salita (+) e in discesa (—).

Soggetto P.A.: statura 171 cm, peso 55 kg, età 30 anni.

Nella figura riferenti alla marcia in piano, le linee irradianti dall'origine indicano la frequenza dei passi per minuto. Le equazioni corrispondenti ad ogni retta sono state calcolate col metodo dei minimi quadrati, essendo esclusi dal calcolo i dati relativi alle velocità massime.

Essendo questa funzione espressa dall'equazione

$$(I) \quad p = a + bv$$

ove  $p$  è la lunghezza del passo in metri, e  $v$  la velocità in m/sec, appare evidente che lo spazio percorso ad ogni passo risulta di due componenti, di cui una,  $a$ , è costante ed indipendente dalla velocità, mentre l'altra,  $bv$ , è proporzionale alla velocità: questa seconda componente dello spazio viene percorsa

in un tempo  $b$  costante, mentre il tempo necessario per percorrere la frazione  $a$  sarà tanto maggiore quanto minore è la velocità.

È ovvio dalla (1) che la curva che descrive la frequenza dei passi in funzione della velocità sarà una iperbole, come era stato precedentemente rilevato da Scholz [4].

Il fatto che la componente  $a$  è indipendente dalla velocità di marcia suggerisce la possibilità che questa componente sia dovuta ad una traslazione del

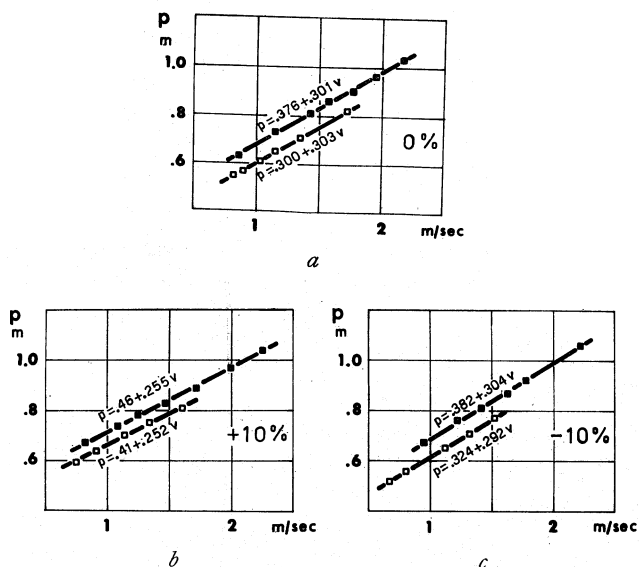


Fig. 3. - Lunghezza del passo, in m, in funzione della velocità media di marcia, in m/sec, in due soggetti di statura e peso notevolmente differenti.

Soggetto G.M.: statura 196 cm, peso 84 kg, età 27 anni (■).  
 Soggetto G.P.: statura 146 cm, peso 42 kg, età 15 anni (□).

corpo, sostenuto dall'arto a fermo contatto col suolo, sul quale grava il peso del corpo: soltanto ricorrendo a questo possibile meccanismo si spiega come questa componente spaziale sia indipendente dalla velocità: essa dovrebbe d'altronde dipendere dalle dimensioni lineari del corpo.

Per controllare quest'ipotesi abbiamo voluto paragonare questa funzione su due individui di statura notevolmente diversa, ed i risultati sono riassunti in fig. 3.

Appare evidente che la componente  $a$  è notevolmente più piccola nel soggetto a statura minore, in misura pressoché corrispondente alla relativa differenza di statura.

L'inclinazione della curva appare, al contrario, essere la stessa per i due soggetti; il tempo necessario per percorrere la seconda frazione del passo non dipende cioè dalle dimensioni corporee del soggetto.

Il fatto che il tempo necessario per compiere la seconda frazione di spazio sia costante ed indipendente dalla velocità media, suggerisce un meccanismo di caduta libera del corpo, che ad ogni passo subisce delle oscillazioni in senso verticale: tale entità corrisponderebbe allora al tempo di parabola, che è indipendente dalla componente orizzontale della velocità: è interessante rilevare a questo proposito che la componente verticale dello spostamento è risultata

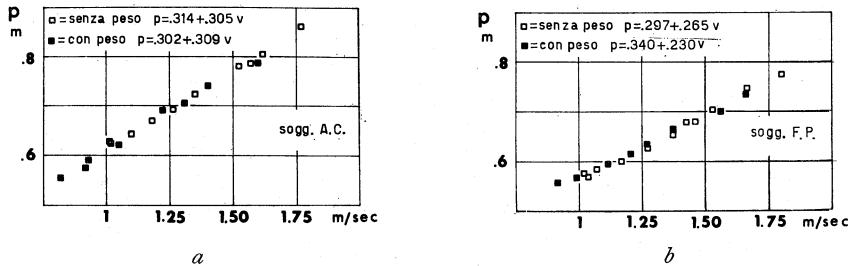


Fig. 4. - Lunghezza del passo nella marcia in piano in due soggetti, con e senza peso, rappresentato da un sacco a spalla di 38,5 kg.

Soggetto A. C.: statura 172 cm, peso 69 kg, età 29 anni.

Soggetto F. P.: statura 178 cm, peso 73 kg, età 29 anni.

essere pressoché costante nella marcia [8], ed anche nella corsa la componente verticale della spinta del piede ad ogni passo è costante ed indipendente dalla velocità di progressione [9].

Il tempo di parabola è dato come è noto da

$$(2) \quad t = \sqrt{\frac{8 S_v}{a}}$$

ove  $S_v$  è lo spostamento verticale e  $a$  la componente verticale dell'accelerazione. Se  $b$  della formula (1) è effettivamente l'espressione del tempo di parabola, sostituendo nella (2) il valore riscontrato (0,3 sec) si otterrà:

$$\frac{S_v}{a} = \frac{0,09}{8} = 0,011.$$

Per tutto il tratto lineare della funzione cioè, il rapporto fra oscillazione verticale e accelerazione è costante. Poiché l'oscillazione verticale ad ogni passo è risultata essere all'incirca 5 cm, risulta che la componente verticale dell'accelerazione  $a$  è uguale a 4,5 m/sec<sup>2</sup>, cioè circa la metà della gravitazione terrestre, l'altra metà essendo controbilanciata dalla forza opposta dalle strutture ossee e muscolari del corpo che si oppongono alla libera caduta.

Che questo tempo dipenda sostanzialmente dall'accelerazione e non dal peso del corpo è dimostrato dal fatto che l'aggiunta al soggetto di un peso (sacco a spalle di circa 40 kg) non modifica apprezzabilmente la funzione descritta (fig. 4); né la costante  $b$  assume valori differenti per individui di diversa massa.

Anche nella marcia in salita o in discesa la lunghezza del passo appare essere sempre la stessa funzione lineare della velocità, come è dimostrato dai dati della fig. 5 nella quale i valori delle costanti  $a$  e  $b$  sono posti in funzione dell'inclinazione del terreno.

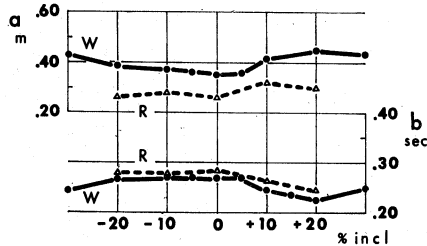


Fig. 5. - I valori delle costanti  $a$ , in m, e  $b$ , in sec, della (1), rilevati nel soggetto P.A., sono posti in funzione dell'inclinazione del terreno.

Soltanto a valori molto elevati di velocità di corsa, oppure all'inizio di una corsa veloce durante la fase di accelerazione, il valore di  $b$  tende a diminuire, e ciò è più evidente nei soggetti meno esperti in tale tipo di esercizio (fig. 6).

Partendo dal presupposto che  $b$  rispecchi effettivamente il tempo di parabola, tale diminuzione si può spiegare sia con una diminuzione della componente verticale dello spostamento  $S_v$ , sia con un aumento della accelerazione  $a$ .

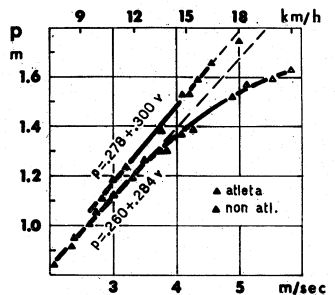


Fig. 6. - Lunghezza del passo, in m, in funzione della velocità media di corsa, in m/sec, in un soggetto non atleta (P.A.) e in un corridore olimpionico mezzofondista

(A. R.: statura 175 cm, peso 72 kg).

Quest'ultima potrebbe aver luogo unicamente attraverso una diminuzione della forza di sostegno esercitata dagli arti inferiori nel periodo della caduta: se questa forza fosse ridotta a zero,  $a$  assumerebbe il valore della accelerazione terrestre  $e$ , supponendo immutato lo spostamento verticale, il tempo di parabola verrebbe ridotto a

$$\sqrt{\frac{8 \times 0,05}{9,81}} = 0,2.$$

Questo sarebbe cioè il tempo minimo teorico impiegato ad ogni passo che implichi un sollevamento del corpo di 5 cm; la frequenza massima dei passi ammonterebbe allora a 300/min.

La frequenza dei passi può ulteriormente aumentare quando il centro di gravità ad ogni passo si solleva meno di 5 cm. È probabile che anche questo meccanismo entri in gioco quando si richiede una frequenza di passi molto elevata, come nella corsa veloce o nella fase di accelerazione, nella quale valori massimi di 320 passi al minuto sono stati rilevati [10].

#### BIBLIOGRAFIA.

- [1] G. A. CAVAGNA e R. MARGARIA, « Rend. Acc. Naz. Lincei », ser. VIII, 3, 331 (1965).
- [2] W. WEBER e E. WEBER, *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*, Dietrichsche Buchh. Gottingen 1836.
- [3] E. MAREY, *La machine animale*, Paris 1879.
- [4] G. SCHOLZ, « Arbeitsphysiol. », 15, 211 (1953).
- [5] L. ERICKSON, E. SIMONSON, H. L. TAYLOR, H. ALEXANDER e A. KEYS, « Am. J. Physiol. », 145, 391 (1946).
- [6] A. C. BOBBERT, « J. appl. Physiol. », 15, 1015 (1960).
- [7] R. MARGARIA, « Rend. Acc. Naz. Lincei », ser. VI, 7, 297 (1938).
- [8] G. A. CAVAGNA, F. P. SAIBENE e R. MARGARIA, « J. appl. Physiol. », 18, 1 (1963).
- [9] G. A. CAVAGNA, F. P. SAIBENE e R. MARGARIA, « J. appl. Physiol. », 19, 249 (1964).
- [10] G. A. CAVAGNA, R. MARGARIA e E. ARCELLI, « Research Film », 4, 309 (1965).