

## Le salite e le discese: biomeccanica e effetti allenanti

Luca Cavaggioni<sup>1</sup>, Enrico Arcelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laurea Magistrale in Scienze dello Sport, Facoltà di Scienze Motorie dell'Università di Milano

<sup>2</sup> Già professore Associato presso la Facoltà di Scienze Motorie dell'Università di Milano

In internet è possibile rintracciare soltanto pochissimi articoli scientifici che si occupano della disciplina della corsa in montagna. Quasi tutti, per la verità, si riferiscono ad ultramaratone di montagna e analizzano in particolare questi argomenti: le conseguenze neuro-



muscolari e le variazioni nel sangue e nelle urine dopo sforzi così prolungati; le abitudini alimentari prima e durante la gara; i sintomi gastrointestinali e i cambi nella biomeccanica della corsa nel corso della competizione; l'importanza dei fattori antropometrici e della preparazione ai fini della prestazione; i cambiamenti prestativi al variare dell'età. Un solo lavoro, risalente ad alcuni anni fa e scritto da studiosi dell'Istituto di Medicina Interna dell'Università di Torino (Estivi et al., 1992), del quale è stato possibile reperire soltanto l'abstract, è riferito alla corsa in montagna; nello specifico tratta l'argomento delle proteine che si trovano nelle urine dei corridori dopo la gara.

Molte sono invece le ricerche che si sono occupate della biomeccanica e della spesa energetica della corsa in salita e di quella in discesa, in genere effettuate sul tapis roulant. Sarà appunto della corsa in salita e in discesa, raffrontata con quella in piano, che si parlerà inizialmente in questa sede. Si parlerà poi dell'utilità che possono avere nell'allenamento degli atleti i vari tipi di corsa in salita.

### Le fasi della corsa

La corsa (sia essa effettuata in piano, in salita o in discesa), come ben si sa, è una successione di passi, in cui si alternano momenti in cui vi è l'appoggio al suolo di un piede e momenti di volo. Di solito si riconoscono tre fasi ben precise:

- la fase di ammortizzazione;
- la fase di spinta;
- la fase di volo.

La fase di ammortizzazione inizia quando il corpo, con il piede (che si trova in leggera flessione dorsale), prende contatto con il terreno. Termina quando la proiezione verticale del bacino cade sulla parte metatarsale del piede. Nella fase di ammortizzazione il punto d'appoggio è più avanti del centro di gravità del corpo; ciò determina una "frenata", o meglio la riduzione sia dell'energia potenziale che di quella cinetica, ossia si ha un abbassamento del centro di gravità e, al tempo stesso, una decelerazione. In tale fase il corpo accumula energia elastica nella componente elastica in serie dei muscoli sottoposti ad allungamento, essenzialmente nel tendine e nella parte S2 della miosina del tricipite surale e del quadricipite. Questa energia elastica verrà poi restituita sotto forma di lavoro meccanico e potenzierà la successiva fase concentrica, ovvero quella che avviene nella fase di

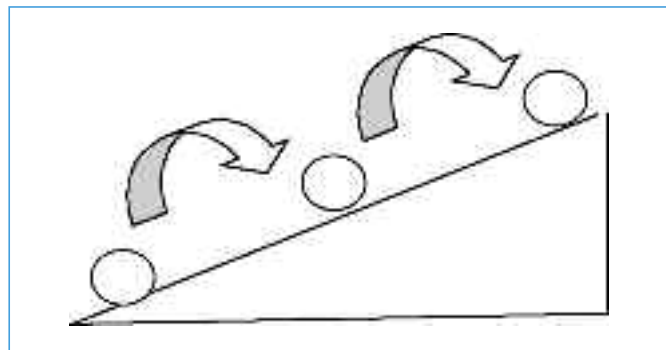
spinta (Cavagna et al., 1964; Cavagna et al., 1968; Shorten, 1987).

Nella fase di spinta, vi è una marcata estensione delle articolazioni della caviglia, del ginocchio e dell'anca, grazie a cui vi è la proiezione del bacino per avanti-alto. Si ha così contemporaneamente un aumento sia dell'energia cinetica (ossia si accresce la velocità istantanea), sia dell'energia potenziale (ovvero si innalza il centro di gravità). Come si è detto, è in questa fase che si ha il recupero dell'energia elastica, quella che era stata immagazzinata nella fase eccentrica di ammortizzazione e che permette di ottenere un surplus di energia e una minor spesa energetica nell'effettuare la spinta vera e propria (Cavagna et al., 1964; Cavagna et al., 1968; Shorten, 1987).

Nella fase di volo vi è una lieve diminuzione dell'energia cinetica per via della resistenza offerta dall'aria; l'energia potenziale, invece, inizialmente tende ad aumentare perché il centro di gravità si alza rispetto al suolo e in un secondo momento si riduce con un valore minimo a contatto con il suolo.

### La corsa in salita

Nella corsa in salita l'energia potenziale tende continuamente ad aumentare; il centro di gravità del corpo, infatti, ad ogni passo viene sollevato in misura tanto maggiore quanto superiore è la pendenza della salita. Per quello che riguarda la fase di volo, va tenuto presente che, poiché ogni punto di appoggio del piede, al momento in cui esso tocca terra, è più alto del punto di appoggio precedente; è come se si arrivasse al suolo scendendo da un'altezza inferiore rispetto alla corsa in piano, escludendo in tal modo una parte della



**Figura 1:** viene rappresentato lo schema biomeccanico della corsa in salita; si noti come ad ogni passo il corpo (in questo caso la palla) si trovi ad un'altezza maggiore della precedente.

parabola discendente (Figura 1).

Nella fase di ammortizzazione, dunque, l'impatto con il terreno risulterà essere minore (Gottschall e Kram, 2004). Di conseguenza risulterà inferiore anche l'energia elastica accumulata dai tendini e dall'apparato muscolare. Essa, passando dal piano ad una pendenza del 15%, si riduce del 32,5%.

Proprio per tale motivo, nella corsa a velocità costante l'intervento della componente contrattile dei muscoli deve essere tanto maggiore quanto maggiore è la pendenza della salita. Sempre Gottschall e Kram (2004) hanno evidenziato che la componente orizzontale della spinta (ovvero quella che aumenta l'energia cinetica), quando viene paragonata con quella della corsa in piano, aumenta sensibilmente, toccando valori di +50% a +6° di pendenza e di +75% a +9° di pendenza. Va sottolineata che, al contrario, la componente verticale, per lo meno nell'ambito delle pendenze analizzate da suddetti autori (da -9° a +9° di inclinazione), non subisce variazioni significative.

Per quello che riguarda la durata delle singole fasi della corsa in salita, alle varie velocità e alle varie pendenze, osservando i dati presenti nella tabella 1, si può notare che:

- la durata della fase di volo è tanto minore nei confronti di quella del piano quanto maggiori sono la pendenza della salita e la velocità di corsa;
- il tempo di contatto rimane pressoché uguale a quello del piano per tutte le pendenze e varia solamente per inclinazioni superiori al +15%;
- la durata del passo, infine, diminuisce quanto maggiore è la pendenza della salita e la velocità di corsa, proprio per la diminuzione della fase di volo.

Nella fase di appoggio, si ha una maggior flessione delle articolazioni della caviglia, del ginocchio e dell'anca rispetto alla corsa in piano; l'estensione di queste tre articolazioni nella fase di spinta, ovviamente, è maggiore, con un maggior intervento della muscolatura estensoria, in particolare del vasto mediale e del gastrocnemio.

Quanto alla potenza muscolare necessaria per spingere il corpo in salita, si nota che essa è prodotta in percentuale tanto maggiore dall'articolazione dell'anca quanto maggiore è la pendenza: vi è, infatti, un'augmentata attivazione muscolare a carico degli adduttori, degli ischio crurali e dei vasti del quadricipite. Nella fase di ammortizzazione, invece, diminuisce l'attivazione a carico del vasto laterale, aumentando quella del vasto mediale; nella fase di spinta, inoltre, vengono attivati maggiormente i vasti del quadricipite

	Slawinski et al. (2008) 5,5% pendenza	Minetti et al. (1994) 15% pendenza	Gottschall & Kram (2004) 15,8 % pendenza	Swanson & Caldwell (2000) 30% pendenza
<b>CORSA IN PIANO</b>	T.volo(s) 0,128	T.volo(s) 0,47	T.volo(s) 0,47	T.volo(s) 0,51
	T.contt(s) 0,117	T.contt(s) 0,23	T.contt(s) 0,23	T.contt(s) 0,207
	Vel (m\`s) 7,56	Vel (m\`s) 3	Vel (m\`s) 3	Vel (m\`s) 4,47
<b>CORSA IN SALITA</b>	T.volo(s) 0,132	T.volo(s) 0,42	T.volo(s) 0,45	T.volo(s) 0,38
	T.contt(s) 0,137	T.contt(s) 0,22	T.contt(s) 0,45	T.contt(s) 0,184
	Vel (m\`s) 6,28	Vel(m\`s) 3	Vel (m\`s) 3	Vel (m\`s) 4,47

**Tabella 1:** tempi di volo, di contatto e di velocità secondo 4 studiosi (Slawinski et al., 2008; Minetti et al., 1994; Gottschall & Kram, 2004; Swanson & Caldwell, 2000) durante la corsa in piano e in salita.

ed il soleo, a discapito del retto femorale e degli ischio crurali.

Se si passa da una corsa in piano ad una in salita con una pendenza pari al 10%, vi è un incremento significativo della massa muscolare coinvolta.

In salita sono minori i picchi di forza verticale che si registrano al momento dell'impatto col suolo (fase di ammortizzazione): si riducono del 38% ad una pendenza del 6%, sino ad arrivare ad una riduzione del 54% per una pendenza del 9% (Gottschall e Kram, 2004).

### La corsa in discesa

Le forze d'impatto in discesa aumentano in modo marcato rispetto al piano ed alla salita. Rispetto alla corsa in piano, in discesa vi è un aumento del 32% a -6° e del 54% a -9° % (Gottschall e Kram, 2004).

La componente orizzontale della spinta (ovvero quella che aumenta l'energia cinetica), se paragonata con quella della corsa in piano, cala notevolmente in discesa: essa diminuisce del 40% a -6° di inclinazione e del 61% a -9° di inclinazione.

Secondo Hreljac et al. (2000), il picco di forza al momento dell'arrivo del piede sul terreno rappresenta il parametro più importante nella determinazione di un infortunio di quelli che colpiscono il corridore. Soprattutto chi sta recuperando da un infortunio all'arto inferiore, dunque, è bene che eviti la corsa in discesa.

### L'utilizzo delle corse in salita nell'allenamento

Ai fini della prevenzione degli infortuni, la sostituzione (anche parziale) della corsa in piano con quella in salita, specie alle alte intensità, potrebbe essere utile nei corridori che stanno recuperando da infortuni agli arti inferiori o è a rischio di incorrervi; questo non solo per-

ché vi sono delle forze d'impatto al suolo inferiori, ma anche perché vi è una minor apertura del passo pelvico con un'attivazione minore dei muscoli flessori della coscia. Per questi atleti è altresì sconsigliata la discesa.

Nei soggetti più giovani, la corsa in salita può essere utile per rafforzare la muscolatura più impegnata nella spinta. Con loro (ma anche con gli atleti già adulti) le salite – considerando che in esse, come si è detto, la componente orizzontale nella fase di spinta è del tutto simile a quella del piano, per lo meno fino a certe pendenze – possono servire a migliorare la tecnica di corsa, per esempio a chi non estende una o più articolazioni degli arti inferiori durante la corsa.

Vari tipi di corsa in salita sono stati proposti per ottenere adattamenti fisiologici utili ai fini della prestazione. Le salite più utilizzate sono quelle:

- A. di alcune decine di metri (Arcelli, 1984; Arcelli, 1986);
- B. di alcune centinaia di metri (Arcelli 1996; Arcelli e Dotti, 2000);
- C. di alcuni chilometri (Arcelli, 1989).

Gli adattamenti che ci si propone di conseguire, nel primo caso (quello indicato con A.) riguardano gli aspetti centrali, vale a dire concernono la capacità del cuore di migliorare la gittata e possono essere utilizzati dagli atleti di tutte le discipline nelle quali è utile un miglioramento dell'apporto di sangue ai muscoli. Negli altri due casi, invece, interessano gli aspetti periferici, ossia sono riferiti alla muscolatura, meglio ancora alle fibre muscolari. Nel caso delle salite di alcune centinaia di metri (B.), l'utilità maggiore si può avere con gli atleti dei 400 m e con quelli del mezzofondo veloce. Le salite di alcuni chilometri (C.), invece, sono soprattutto utili per i corridori delle lunghe distanze, in particolare della maratona (Arcelli, 1989).

## A. LE RIPETUTE IN SALITA DI ALCUNE DECINE DI METRI

Quando si parla di mezzi di allenamento per le componenti aerobiche centrali, ci si riferisce a quelli grazie ai quali si possono migliorare le caratteristiche che aumentano l'apporto di ossigeno ai muscoli. Su tale apporto si può influire con l'allenamento soprattutto agendo sulla capacità del cuore di pompare una maggiore quantità di sangue per minuto, in pratica migliorando la "gittata pulsatoria", ossia la quantità di sangue pompata dal cuore ad ogni battito.

I mezzi di allenamento più studiati sono quelli che portano la frequenza cardiaca vicino a quella massima, vale a dire sopra il 90% di essa (Hoff et al., 2002). Ma molto utili sono anche quelli che implicano una rapidissima salita della frequenza cardiaca, come succede con le ripetute di sprint in salita (Arcelli, 1984; Arcelli, 1986; Arcelli e Ferretti, 1993). Sono indicate le ripetute in salite su tratti di 60-80 m, per una durata fino a 9-10 s, con l'impegno massimo o molto vicino a quello massimo. Al contrario di quello che si potrebbe pensare, è preferibile che l'intervallo fra una salita e l'altra sia piuttosto lungo (anche oltre 3 min, specie nelle prime sedute in cui si effettua tale tipo di lavoro) per fare in modo che la frequenza cardiaca possa scendere verso i 100 battiti/min e che, dunque, per effetto della salita successiva, ci possa essere quell'elevato incremento delle pulsazioni cardiache che, come si è detto, costituisce lo stimolo per aumentare la gettata pulsatoria e, di conseguenza, per ottenere un miglioramento delle componenti centrali del meccanismo aerobico (Arcelli e Ferretti, 1993).

Queste salite possono essere utilizzate non soltanto per le corse di velocità prolungata, di mezzofondo e di fondo e per le altre discipline sportive basate sulla corsa (calcio, basket, tennis e altri giochi di squadra), ma anche per quelle – per esempio il ciclismo e il nuoto – che non la comprendono, ma nelle quali, ai fini della capacità prestativa, è utile aumentare l'apporto di ossigeno ai muscoli.

## B. LE RIPETUTE IN SALITA DI ALCUNE CENTINAIA DI METRI

Le ripetute in salita di alcune centinaia di metri ad una frequenza cardiaca vicina a quella della soglia anaerobica possono essere utili per migliorare le componenti aerobiche periferiche nei 400 m e nel mezzofondo veloce. Nei 400 m, del resto, il contributo del meccanismo ossidativo è pari a circa il 25% (Arcelli et al., 2008; Arcelli et al., 2010 a), negli 800 m a circa

il 50% (Arcelli et al., 2010 b), mentre rappresenta la fonte più importante nei 1500 m.

L'adattamento delle componenti aerobiche periferiche, si badi, deve essere considerato non solo nei riguardi dei singoli muscoli, ma anche delle fibre. Nel mezzofondo veloce e, a maggior ragione, nei 400 m, intervengono in numero notevole le fibre veloci, anche di sottotipo IIx, quelle che più di tutte hanno la tendenza ad usare il meccanismo anaerobico lattacido. Sarebbe importante, dunque, che tutte le fibre veloci migliorassero oltre che dal punto di vista lattacido, anche da quello aerobico. Non si tratta di far perdere ad esse le caratteristiche lattacide (troppo importanti per le prove dai 400 m ai 1500 m), ma anche di aumentare in esse gli enzimi mitocondriali (Arcelli e Dotti, 2000).

Esiste però un problema. I mezzi più di tutti adatti per ottenere un miglioramento delle componenti aerobiche periferiche (per esempio le ripetute di pochi o di alcuni minuti a velocità attorno a quella della soglia anaerobica o il "corto veloce"), hanno entrambi i requisiti per fare sì che nei muscoli più impegnati nel mezzofondo prolungato o nel fondo si ottenga l'adattamento desiderato: (a) portano alla produzione di quantità non rilevanti di lattato; (b) durano da pochi ad alcuni minuti. Del tutto verosimilmente, però, nel corso di esse, si reclutano (e vengono allenate dal punto di vista aerobico) soprattutto fibre di tipo I e una certa quantità di fibre di tipo IIa (veloci-ossidative); non vengono attivate, invece, se non eventualmente in maniera molto marginale, le fibre di sottotipo IIx (veloci-glicolitiche).

*In quale maniera, allora, si possono allenare le caratteristiche aerobiche di queste ultime fibre?*

Se si vuole obbedire alla regola (a), ossia per correre senza che si formino elevate quantità di lattato, si deve tenere un'andatura che non fa intervenire fibre IIx. Se, invece, si corre ad un'andatura che fa intervenire le fibre di tipo IIx, la durata dello sforzo è troppo breve che non permette di rispettare la regola (b).

Per questo motivo sono state proposte (Arcelli, 1996) le ripetute in salita di alcune centinaia di metri, come stimolo adatto al miglioramento delle componenti aerobiche periferiche per gli atleti dei 400 m, degli 800 m e anche dei 1500 m. Quando si corre in salita, infatti, in ciascuna spinta la potenza muscolare richiesta è maggiore di quando si corre in piano ad una velocità che determina la stessa spesa energetica. Come si è detto in precedenza, infatti, da un lato si deve sollevare in misura maggiore il centro di gravità, mentre



dall'altro lato è anche inferiore l'energia elastica accumulata dai muscoli durante la fase di ammortizzazione e restituita poi nella fase di spinta. Come conseguenza di questi due fatti, è richiesto l'intervento di una maggior quantità di fibre veloci. Se, dunque, con l'aiuto del cardiofrequenzimetro, si scelgono intensità di corsa in salita che implicano la stessa frequenza cardiaca di quella che è utilizzata per compiere in piano le ripetute che favoriscono il miglioramento delle componenti aerobiche periferiche (sopra alla frequenza cardiaca di soglia se si fanno tratti di pochi minuti, attorno ad essa se i tratti durano più a lungo, come nel "corto veloce"), di certo vi è l'intervento di un numero maggiore di fibre veloci, tanto maggiore quanto più elevata è la pendenza.

In chi ha già fatto le ripetute in piano, gli adattamenti alle ripetute in salita di alcune centinaia di metri sono, specie nelle prime sedute, molto rapidi: da una seduta alla successiva, infatti, i tempi ottenuti in un certo tratto di salita tendono a scendere in misura sensibile e anche dal punto di vista muscolare le sensazioni sono quelle di una rapida abitudine a tale tipo di lavoro.

#### C. LE RIPETUTE IN SALITA DI ALCUNI CHILOMETRI

Si deve fare riferimento alle fibre muscolari anche per capire il vantaggio che può derivare al corridore delle lunghe distanza dal fatto di correre tratti in salita lunghi alcuni chilometri, compiendo quelle che spesso sono definite "cronoscalate". In questo caso si deve pensare – semplificando un po' le cose – che, nel corso di una gara lunga, ad un certo punto vengono messe "fuori uso" (nella maratona soprattutto perché

hanno esaurito tutto il contenuto in glicogeno, nelle gare più brevi – corse attorno o poco sopra la soglia anaerobica – forse anche per l'abbassamento del pH) le fibre più adatte a produrre energia con il meccanismo aerobico, quelle di tipo I. A questo punto, intervengono in sostituzione le più ricche in mitocondri fra quelle di tipo IIa (veloci ossidative), poi in successione – via via che vengono messe fuori uso altre fibre – quelle meno ricche di tali corpuscoli e, nel finale della gara, anche le IIx (veloci glicolitiche).

Per riuscire ad allenare al meglio anche le fibre con una minore densità di mitocondri e perciò meno abili a utilizzare l'ossigeno (e al tempo stesso mediamente in grado di estrinsecare una maggiore tensione), è stato suggerito (Arcelli, 1989) il lavoro su salite lunghe, fino a 10 km o più. In un lavoro in piano, infatti, l'intervento di tali fibre potrebbe avvenire soltanto dopo lavori su distanze molto vicini alla maratona (o alla distanza di gara ad andatura simile ad essa), lavori che possono venire effettuati più raramente, con maggiore impegno fisico e con la necessità di recuperi più lunghi che con le salite lunghe. E' anche possibile che contemporaneamente, effettuando le salite lunghe, ci sia un miglioramento della forza nelle fibre di tipo I.



## Bibliografia

- Arcelli E.: Corse di mezzofondo e di fondo: componenti aerobiche centrali e periferiche, *Atletica Leggera*, n. 298, pagg. 50-52, ottobre 1984.
- Arcelli E. : *Le corse in salita*, in "Calcio oggi, calcio domani", di Fascetti E., Arcelli E., Sassi R., Sperlig & Kupfer editori, Milano, 1986.
- Arcelli E.: *La maratona: allenamento e alimentazione*. Edizioni Correre, Milano, 1989.
- Arcelli E.: Le ripetute in salita di alcune centinaia di metri nell'allenamento dell'ottocentista. *Atletica Leggera*, n. 423, pagg. 64-65, settembre 1996
- Arcelli E., Dotti A.: Mezzofondo veloce: dalla fisiologia all'allenamento. *FIDAL, Centro Studi e Ricerche*, 2000.
- Arcelli E., Cavaggioni L., Alberti G.P.: La corsa dei 400 metri. Fisiologia e principi generali dell'allenamento", *Scienza & Sport*, n. 7, pagg. 60-65, 2010 a.
- Arcelli E., Ferretti F.: *Calcio: preparazione atletica*. Edizioni Correre, Milano, 1993.
- Arcelli E., Mambretti M., Cimadoro G., Alberti G.P.: "The aerobic mechanism in the 400 meters", *New Studies in Athletics*, n. 2, pagg. 15-23, 2008.
- Arcelli E., Riboli A. e Trecroci A.: L'intervento del meccanismo aerobico negli 800 m. *Atletica Studi*, n. 3, pagg. 16-22, 2010 b.
- Cavagna G.A., Saibene F.P., Margaria R.: Mechanical work in running. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 19, pagg. 249-252, 1964.
- Cavagna G.A., Dusman B., Margaria R.: Positive work done by previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 24, pagg. 21-32, 1968.
- Estivi P., Urbino R., Tetta C., Pagano G., Cavallo-Perin P.; Urinary protein excretion induced by exercise: effect of a mountain agonistic footrace in healthy subjects. Renal function and mountain footrace (abstract). *J Sports Med Phys Fitness*. Vol. 32, n. 2, pagg. 196-200, 1992
- Gottschall J.S., Kram R.: Ground reaction forces during downhill and uphill running. *Journal of Biomechanics*, Vol. 38, n. 3, pagg. 445-452, 2004.
- Hoff J., Wisloff U., Engen L.C., Kemi O.J., Helgerud J.: Soccer specific aerobic endurance training. *Sport Medicine*, Vol. 3, n. 36, pagg. 218-221, 2002.
- Hreljac A., Marshall R.N. e Hume P.A.: Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 32, pagg. 1635-1641, 2000, citati da Gottschall e Kram (2004).
- Minetti A.E., Ardigo L.P., Saibene F.: Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans. *J Exp Biol.*, Vol. 195, pagg. 211-225, 1994.
- Minetti AE, Moia C, Roi GS, Susta D, Ferretti G. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 93, n. 3: pagg. 1039-1046, 2002.
- Slawinski J., Dorel S., Hug F., Couturier A., Fournel V., Morin J.B., Hanon C.: Elite long sprint running: A comparison between incline and level training sessions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 40, n. 6, pagg. 1155-1162, 2008
- Shorten M.R.: Muscle elasticity and human performance. *Med. Sport Sci*. Vol. 25, pagg. 1-18, 1987, citato da Bisciotti et al., 1999.
- Swanson S.C. e Caldwell G.C.: An integrated biochemical analysis of high speed incline and level treadmill running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 32, n. 6, pagg. 1146-1155, 2000.

