

# Introduzione alla biomeccanica dell'alpinismo

di Piero Villaggio

## I. INTRODUZIONE

Il termine di *biomeccanica* è stato recentemente introdotto per qualificare tutti i problemi connessi con le applicazioni della meccanica alle prestazioni del corpo umano. Dalla definizione restano quindi a priori esclusi tutti i problemi di natura chimica, elettrica, termodinamica come argomento di discipline più classiche come la fisiologia o la biochimica. Ciononostante la sfera di interessi di competenza specifica della biomeccanica è alquanto vasta, investendo settori di varia natura spaziati dall'istologia alla teoria della locomozione: non è privo di rilievo il fatto che l'«Applied Mechanics Review» abbia dedicato una intera sezione della rivista alla recensione dei lavori pubblicati nel campo della *biomeccanica*.

Una biomeccanica dell'alpinismo è un tentativo prematuro, e ciò per due sostanziali ragioni: primo, l'alpinismo meno di altre attività sportive si presta ad una schematizzazione puramente meccanica, essendo associato a fattori di natura tecnica e psicologica, che influiscono in misura determinante sulla prestazione atletica; secondo, alla base di una teoria meccanica dell'alpinismo è necessario assumere come postulati una certa quantità di dati sulle capacità di sforzo e di durata dei principali gruppi muscolari interessati all'arrampicamento: tali dati sono esclusivamente empirici e di estrema variabilità secondo gli individui e le condizioni ambientali. Tuttavia, se queste nozioni, pure nella loro labilità, vengono assunte come *ipotesi di lavoro* per la successiva teoria, esse e gli ordinari metodi della statica danno modo di dedurre alcune risposte sulla *maniera più razionale di progressione*, che non sempre sono banali. L'aggettivo «razionale» richiede la preventiva precisazione del senso in cui i singoli movimenti elementari esplicati nel superamento di un passaggio, o più in generale una certa andatura, possono essere ritenuti più convenienti rispetto ad altri. Una scelta precisa non è semplice; tuttavia, fra i molteplici parametri assumibili come elemento da ottimizzare, uno appare come il più significativo: il minimo consumo di energia durante lo svolgimento di una salita<sup>(1)</sup>. Le implicazioni del principio del minimo consumo vengono a condizionare profondamente lo stile di arrampicata, perché,

come sarà sommariamente illustrato nel paragrafo II, le diverse parti della muscolatura hanno differente capacità di sostenere lo sforzo e quindi, a parità di condizioni, è importante che le masse più robuste siano prevalentemente impegnate nell'azione. Ma il principio di economia è anche coerente con il criterio di sicurezza: procedere con il minimo sforzo significa disporre in permanenza di una riserva di energia che può essere prontamente impiegata nelle occasioni di emergenza, tali sono per esempio il repentino cedimento di un appiglio comportante un brusco sovraccarico sulle altre parti d'appoggio, una improvvisa variazione delle condizioni meteorologiche, un incidente, e così via. A molte delle questioni lasciate aperte dal principio del minimo consumo la tecnica e l'esperienza danno risposte a livello istintivo disciplinando l'andatura nei canoni del cosiddetto *stile*, che sostanzialmente consiste nella riduzione dei movimenti ai termini strettamente essenziali.

Il presente articolo è diviso in quattro parti. La parte preliminare (II) è un'esposizione schematica di nozioni di fisiologia muscolare; questi dati danno corpo alla parte assiomatica della ricerca. La seconda parte (III) contiene un esame statico delle posizioni fondamentali configurabili nell'arrampicata, ciascuna figura essendo idealmente composta in tre fasi, la posizione *iniziale*, di *partenza*, di *arrivo*, con relativo bilancio delle forze. Una sezione particolare (IV) è dedicata allo studio dell'arrampicata per aderenza. La terza parte (V) tratta lo sfruttamento degli appigli. La quarta infine (VI) riguarda il problema della preparazione individuale.

## II. FISILOGIA MUSCOLARE

Nella sua funzione il muscolo può essere tecnicamente assimilato ad una serie alternata di elementi *elastici* e *contrattili*, di cui i primi sono gli effettivi generatori dello sforzo, mentre i secondi hanno semplice funzio-

(1) Altri criteri, addirittura antitetici con quello del minimo consumo, possono essere dati: per esempio quello del minimo tempo di percorrenza.

elemento	contraz. ISOMETRICA		contraz. ISOTONICA	
CONTRATTILE				
ELASTICO				
stato	quiete	sforzo	quiete	sforzo

Fig. 1

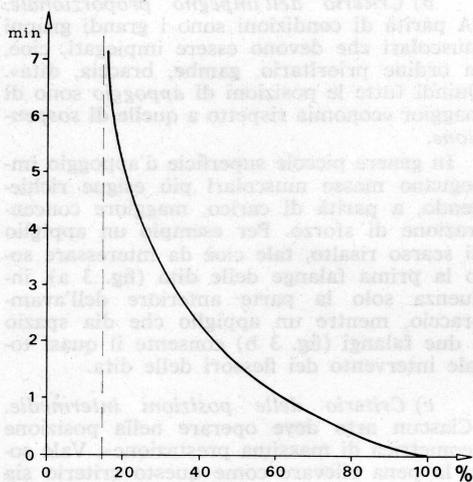


Fig. 2

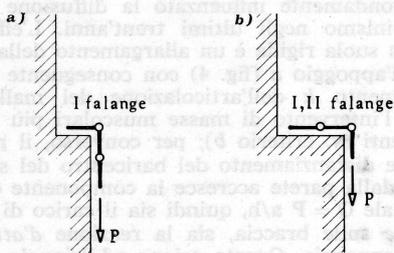


Fig. 3

ne di trasmissione, con o senza variazione della loro lunghezza.

Nel primo caso lo sforzo è accompagnato da una rilevabile contrazione o dilatazione del muscolo (contrazione *isotonica*), nel secondo la lunghezza del muscolo rimane macroscopicamente inalterata (contrazione *isometrica*) (fig. 1). [1]

Le contrazioni isometriche non producono lavoro in senso fisico (almeno rilevabile dall'esterno) ma solo sviluppano una azione statica; le contrazioni isotoniche danno invece luogo ad un lavoro espresso meccanicamente dal prodotto scalare della forza per lo spostamento del suo punto d'applicazione. La misura dell'azione isometrica è convenzionalmente assunta come prodotto della forza per la durata dello sforzo, cioè meccanicamente dall'impulso esercitato.

Fatto caratteristico dell'alpinismo è la richiesta simultanea di contrazioni isotoniche ed isometriche: isotoniche sono tutte le azioni collegate al movimento (camminare, sollevarsi, ecc.); isometriche quelle di sostegno statico senza spostamento. Al più si può osservare che le prime caratterizzano l'arrampicata ai livelli inferiori (dal I al III grado), mentre le seconde sono tipiche dell'arrampicata ai gradi superiori della scala convenzionale delle difficoltà.

I fisiologi sono concordi nel ritenere che non esiste una sostanziale differenza fra contrazioni isotoniche e isometriche agli effetti della fatica, posto che il meccanismo nervoso che le genera sia il medesimo. Le contrazioni isometriche sono tuttavia più gravose: primo, in seguito alle inevitabili perdite per viscosità nella deformazione degli elementi contrattili; secondo, la fissità sotto sforzo rende più difficile la circolazione sanguigna e quindi meno attivo il ricambio. Per converso le azioni isometriche, in quanto non accompagnate da lavoro esterno, si prestano a forti concentrazioni dello sforzo per brevi intervalli di tempo. A tale scopo è significativo l'accluso diagramma (fig. 2) (v. Hettinger [1], pag. 59), tabellante la massima durata di sforzo in dipendenza della percentuale del carico massimo. Il grafico dimostra che sforzi al di sotto del 15% del massimo sopportabile possono venire mantenuti pressoché indefinitamente perché l'irrorazione sanguigna non è compromessa. Viceversa il tempo di resistenza ad un carico al 50% del massimo non supera il minuto e mezzo. Un altro elemento interessante è la conoscenza delle forze esplicabili isometricamente da diversi gruppi muscolari del corpo. Nella Tab. I sono riportate comparativamente le risposte dinamometriche di qualche gruppo muscolare. Nella prima colonna sono indicati i gruppi muscolari, nella seconda — quando richiesto — la posizione del corpo e la disposizione dell'apparato di misura e nell'ultima la forza media in kg, con l'avvertenza che i dati hanno valore solo grossolanamente indicativo (v. Hettinger [1], pag. 44) per maschi adulti.

Gruppi muscolari	Posizione del corpo (punto di misura)	Forza media in kg
Flessori delle dita (forza di presa)	—	46
Adduttori delle dita	(dito medio)	1-2
Abduttori delle dita	(dito medio)	1-2
Bicipite Tricipite	angolo di 90° fra braccio e avambraccio (polso)	30 30
Deltoide Pettorale	Braccia tese lateralmente in orizzontale (polso)	22 44
Addominale Dorsale	Busto a 90° rispetto alle gambe (altezza del petto)	50 54
Quadricipite Flessori della gamba Polpaccio	Angolo di 90° fra coscia e gamba (caviglia)	55 59 55

Gli autori della tabella aggiungono che per le donne si registrano in media valori pari al 70% di quelli maschili. Infine nel corso dell'età la forza cresce rapidamente fino ad un massimo raggiunto fra i 20 e 30 anni; successivamente si registra un decremento relativamente lento, uniforme per entrambi i sessi, tanto che a 65 anni la forza ammonta ancora a circa l'80% del massimo.

Altre variazioni sono da attendersi in dipendenza della diversa posizione mutua delle parti del corpo interessate da ciascun gruppo muscolare. Per esempio la forza del bicipite è massima per una angolatura fra braccio e avambraccio di circa 90° e diminuisce di circa il 50% in corrispondenza delle posizioni estreme di 0° (braccio teso) e 130° (braccio completamente flessa). Questo comportamento di riduzione della forza nelle posizioni di fondo corsa sembra essere generale.

Esaminando ora, alla luce di questi dati, le più importanti conseguenze su una tecnica di progressione improntata al principio di economia, appare logico compendiarle nei tre seguenti criteri:

*a) Criterio dello sforzo ridotto.* «Per disporre di una prolungata applicazione dello sforzo è necessario che il corrispondente gruppo muscolare operi a regime ridotto (teoricamente al di sotto del 15% del carico massimo)». Questo criterio ammette un inverso altrettanto illuminante: «Previsto un determinato sforzo si programmino i tempi di svolgimento in modo tale che siano contenuti entro i limiti di massima sopportazione (2)».

(2) È ovvia deduzione quanto siano pregiudizievole certe soste prolungate al limite della resistenza durante un passaggio.

*b) Criterio dell'impegno proporzionale.* «A parità di condizioni sono i grandi gruppi muscolari che devono essere impiegati, cioè, in ordine prioritario, gambe, braccia, dita». Quindi tutte le posizioni di appoggio sono di maggior economia rispetto a quelle di sospensione.

In genere piccole superficie d'appoggio impegnano masse muscolari più esigue richiedendo, a parità di carico, maggiore concentrazione di sforzo. Per esempio un appoggio di scarso risalto, tale cioè da interessare solo la prima falange delle dita (fig. 3 a), influenza solo la parte anteriore dell'avambraccio, mentre un appoggio che dia spazio a due falangi (fig. 3 b) consente il quasi totale intervento dei flessori delle dita.

*c) Criterio delle posizioni intermedie.* «Ciascun arto deve operare nella posizione geometrica di massima prestazione». Vale solo la pena rilevare come questo criterio sia in accordo con le regole naturali del corretto procedere, che escludono ogni movimento troppo spinto (eccessive aperture di braccia, gambe, inclinazioni del busto, e così via).

Un discorso particolare merita la funzione statica della suola rigida che ha tanto profondamente influenzato la diffusione dell'alpinismo negli ultimi trent'anni. L'effetto della suola rigida è un allargamento della base d'appoggio *a* (fig. 4) con conseguente irrigidimento *k* dell'articolazione del malleolo per l'intervento di masse muscolari più consistenti (v. criterio *b*); per converso, il maggiore distanziamento del baricentro del sistema dalla parete accresce la componente orizzontale  $Q = P a/h$ , quindi sia il carico di trazione sulle braccia, sia la reazione d'attrito sull'appoggio. Questa azione addizionale sopportata per attrito è tipica nella suola rigida.

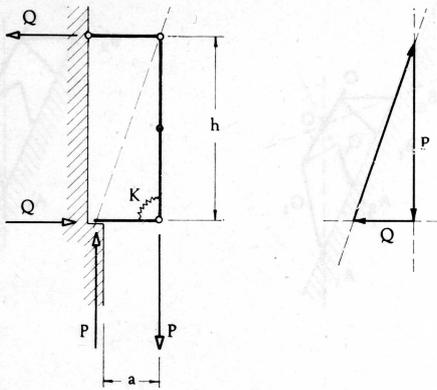


Fig. 4

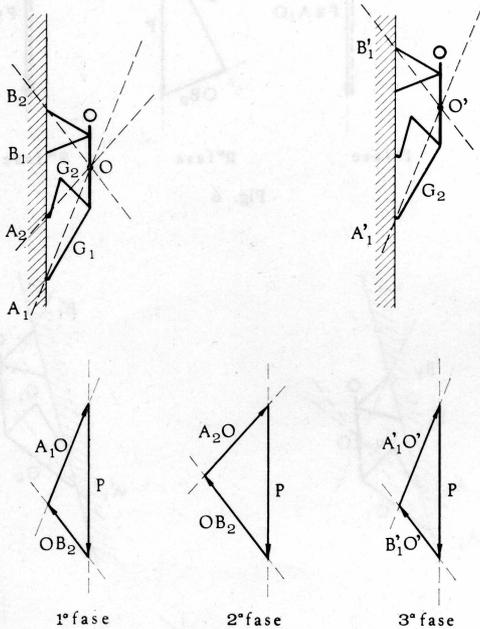


Fig. 5

### III. TECNICHE DI PROGRESSIONE

Esaminiamo brevemente le principali forme di arrampicata libera con il seguente criterio: ogni *passo* o unità di movimento è scomposto in tre fasi, una *iniziale* in cui il carico è ripartito sulle braccia ed una gamba, mentre l'altra gamba, momentaneamente scarica, è poggiata nella direzione di progressione; una di *partenza* in cui, ferme restando le braccia, si verifica la trasmissione statica del carico sulla gamba scarica; una di *arrivo* che è la configurazione finale del sistema a spostamento avvenuto. Il lavoro meccanico viene essenzialmente svolto nell'intervallo fra le fasi 2 e 3; nelle altre situazioni

lo sforzo è puramente isometrico.

Nelle tre fasi viene condotta un'analisi elementare della ripartizione dei carichi, ricorrendo a schematizzazioni radicali allo scopo di rendere evidenti le conclusioni più significative.

1) **Arrampicata su parete verticale.** Nella figura 5 sono rappresentate le tre fasi di un passo su parete verticale. Nella fase iniziale il peso è equilibrato dalla gamba  $G_1$  e dal braccio  $B_2$ , mentre la gamba  $G_2$  e il braccio  $B_1$  sono in semplice appoggio; sicché le reazioni si ottengono decomponendo il peso  $P$ , supposto concentrato nel baricentro, secondo le rette  $OA_1$  e  $OB_2$ . Nella fase di partenza avviene lo scarico di  $P$  sulla gamba  $G_2$  ed il corrispondente equilibramento del carico  $P$  secondo le direzioni  $OA_2$  e  $OB_2$ . Al termine di questa fase si ha l'innalzamento del baricentro da  $O$  a  $O'$  svolto essenzialmente da  $G_2$  con la parziale collaborazione delle braccia. Nella fase di arrivo il triangolo delle forze è identico alla fase iniziale.

Sebbene lo schema faccia astrazione da un'analisi del moto in tutto il suo svolgimento e trascuri il fatto che il passaggio da  $O$  a  $O'$  non avviene secondo una retta bensì secondo un arco di curva, tuttavia due considerazioni essenziali emergono immediatamente:

a) Le fasi 1, 3, staticamente equivalenti, sono situazioni di prevalente spinta (carico applicato su una gamba), in confronto a queste la fase 2, che richiede un maggiore sovraccarico sulle braccia, deve intendersi come fase di *transizione*. Gli eventuali arresti nella progressione, per esempio quelli destinati alla ricerca e alla scelta degli appigli, vanno localizzati nelle fasi 1 e 3.

b) La direzione verticale delle gambe è fondamentale per il mantenimento della situazione di spinta. Talvolta questo risultato si ottiene modificando la direttrice si salita *sostituendo alla verticale una successione alternata di tratti di traversata ascendente*. L'accorgimento è già posto in rilievo da Nieberl e Hiebeler [2] (cap. V, sez. b).

2) **Arrampicata su parete inclinata.** L'esame dell'equilibrio delle forze è anche in questa situazione limitato alle fasi 1, 2, 3 e si commenta da sé (v. fig. 6). È interessante notare che nelle due fasi estreme il baricentro del sistema può essere addirittura portato sulla verticale del punto d'appoggio  $A_1$  e  $A'_1$ , in modo tale che il carico è esclusivamente sopportato dalla gamba spingente e il triangolo d'equilibrio degenera in un segmento. Questa posizione di scarico totale delle braccia viene conseguita con un lieve spostamento del bacino all'esterno e una inclinazione del busto in avanti, come del resto viene prescritto dalla tecnica d'arrampicata (v. Nieberl e Hiebeler [2], cap. V, sez. b) (3).

(3) In particolare la posizione va accentuata in dipendenza, oltre che dell'inclinazione della parete, dei carichi accidentali dovuti all'attrezzatura.

### 3) Arrampicata su parete strapiombante.

Il triangolo d'equilibrio del sistema di forze (v. fig. 7) dimostra una rilevante componente del carico sopportata per trazione dalle braccia. Anche in questo caso la fase 2 è essenzialmente di sospensione, ma il carico  $OB_2$  può essere addirittura uguale o superiore in modulo al peso proprio. In realtà subisce un ulteriore aumento durante il transitorio sia perché il baricentro  $O$  non si sposta lungo la congiungente  $OO'$  bensì secondo un arco di curva, sia per l'inevitabile parziale flessione del braccio  $B_2$  durante l'innalzamento.

4) **Arrampicata in camino.** La figura 8 rappresenta lo schema dell'impostazione degli arti nella tipica arrampicata per opposizione in camino (v. Nieberl e Hiebeler [1], cap. V, pag. 184). Nella fase iniziale il carico è decomposto secondo le linee d'azione  $A_1O$  e  $B_1O$ . La seconda fase è caratterizzata da una brusca variazione del triangolo delle forze perché  $P$  è equilibrato da  $A_2O$  e  $B_2O$ . La fase d'arrivo riproduce come al solito la configurazione iniziale. Gli sforzi sui singoli arti possono anche essere rilevanti, ma vale la pena osservare che in una arrampicata per opposizione è teoricamente possibile procedere con soli movimenti di distensione.

5) **Arrampicata in diedro.** L'arrampicata in diedro è caratterizzata dalla alternativa entrata in funzione del braccio e della gamba appigliati alla medesima faccia della parete (fig. 9). Inizialmente il peso  $P$  è equilibrato dalle reazioni  $A_1O$ ,  $OB_1$ , agenti secondo le rette  $OA_1$  e  $OB_1$ . Successivamente si ha la decomposizione nelle due reazioni  $A_2O$ ,  $OB_2$  coincidenti con le rette  $OA_2$  e  $OB_2$ . Infine si verifica la ricostruzione della configurazione statica iniziale, ma dopo lo spostamento del baricentro in  $O'$ . Talvolta nel passaggio dalla fase 2 alla 3, in cui è richiesta una notevole azione di trazione  $OB_2$ , il braccio  $B_1$  può venire momentaneamente disposto in azione spingente  $OB_1^*$ , parallela a  $OB_2$ , ma sono comunque da escludersi perché irrazionali (l'esame statico è immediato) le configurazioni miste di trazione-appoggio su due pareti opposte.

6) **Arrampicata in fessura.** Anche l'arrampicata in fessura presenta qualche similitudine con il caso precedente. Fissando l'attenzione sullo schema rappresentato nella fig. 10, si rileva che nella fase iniziale il carico è equilibrato dalle due componenti secondo le rette  $OA_1$  e  $OB_1$ . I punti d'applicazione  $A_1$ ,  $B_1$ , non sono individuabili con sicurezza perché spesso l'incastro arto-fessura avviene per attrito, e l'aderenza è ottenuta da un'azione secondaria di rotazione dell'avambraccio e della gamba nell'interno della fessura. In fase 2 la ripartizione della forza avviene secondo le componenti  $A_2O$ ,  $OB_2$ . Infine in fase d'arrivo, dopo la momentanea estrazione degli arti incastrati dalla fessura, si ha lo stesso triangolo d'equilibrio che nello stato iniziale.

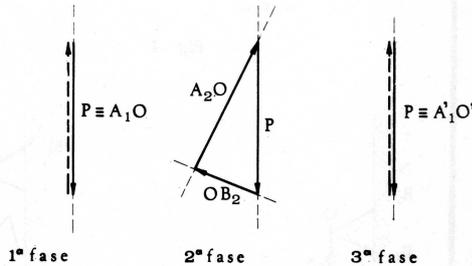
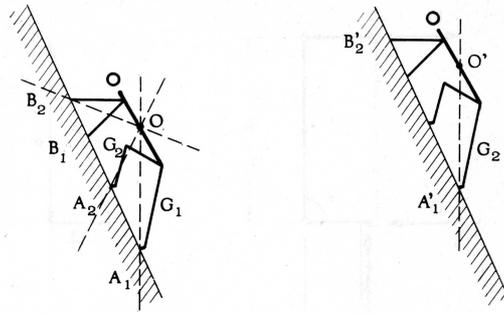


Fig. 6

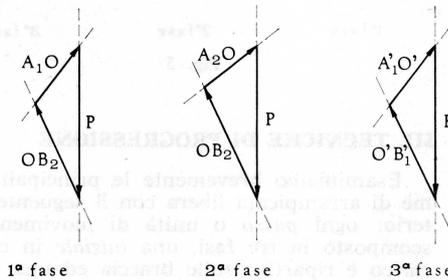
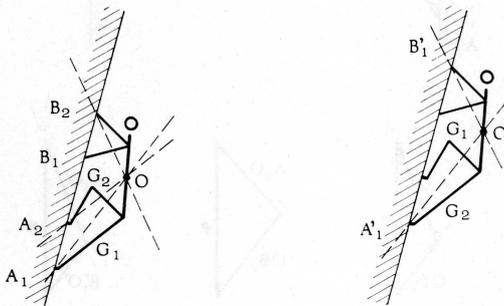


Fig. 7

La presenza di occasionali appoggi nella fessura attenua lo sforzo perché tende a rendere verticale la componente  $A_1O$  diminuendo l'intensità di  $OB_1$ , senza richiedere lo sforzo secondario per assicurare l'aderenza.

7) **Arrampicata in fessura per opposizione (tecnica Dülfer).** La fig. 11 indica la posizione del corpo nel caso in cui, per mancanza d'appoggi sulla parete laterale, la fessura vada risalita esclusivamente per opposizione. Al triangolo d'equilibrio che riproduce la situazione iniziale si sostituisce, in partenza, il sistema di forze  $A_2O$ ,  $OB_2$  dove  $OB_2$  è necessariamente maggiore in intensità di  $OB_1$  della fase 1. La configurazione d'arrivo è anche qui simile a quella iniziale. Un rilievo importante che deriva dalla forma del triangolo delle forze è che opposizioni molto accentuate, sebbene spesso richieste dall'aderenza quando l'appoggio in  $A_1$  e  $A_2$  avviene per attrito (v. paragrafo IV), inevitabilmente accrescono lo sforzo per trazione sulle braccia.

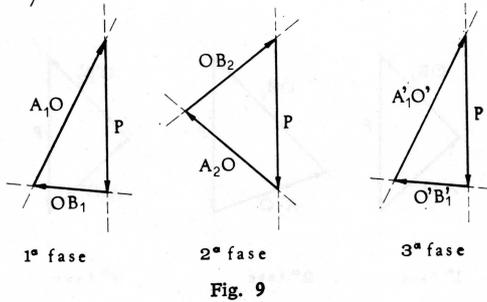
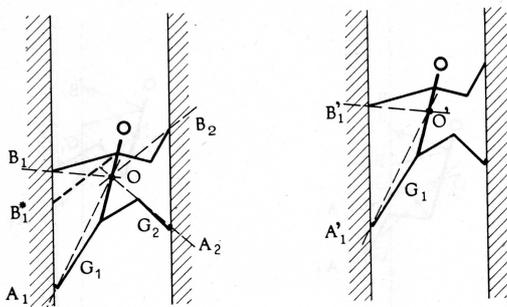
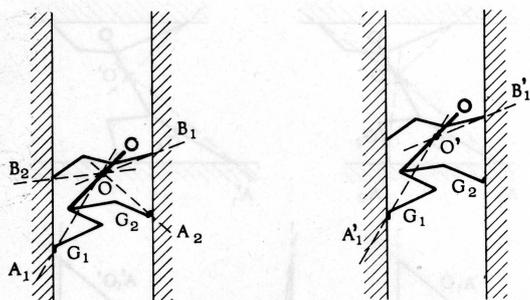


Fig. 9

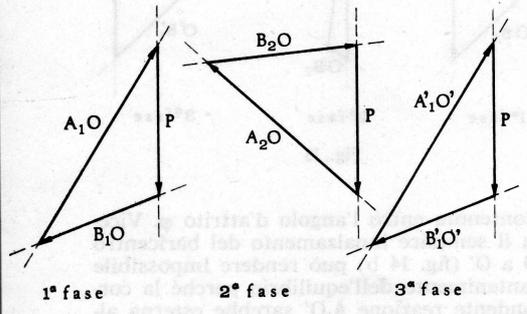


Fig. 8

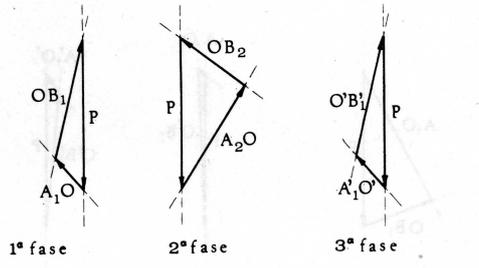
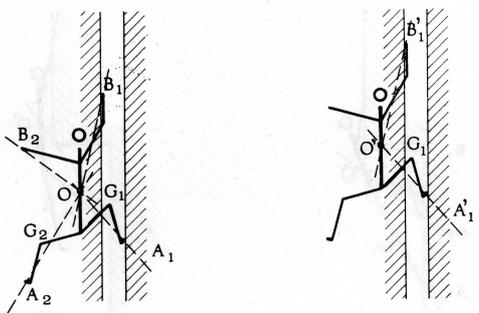


Fig. 10

Inoltre la regola tradizionale delle «braccia tese» nelle salite in opposizione è coerente con il criterio di economia perché consente l'esclusione dello sforzo supplementare dei bicipiti in fase di contrazione.

8) **Strapiombo.** Come fase iniziale del superamento di uno strapiombo in arrampicata libera si assume quella indicata nella figura 12 a). Il peso si decompone secondo le linee d'azione  $OA_1$  e  $OB_1$ . In fase di partenza, quando entra in funzione l'appiglio al di sopra dello strapiombo si ha la decomposizione secondo le rette  $OA_2$  e  $OB_2$ . Infine in fase d'arrivo il triangolo d'equilibrio è quello indicato nella figura 12 b). Il periodo critico di massima trazione sulle braccia perdura non

solo durante la fase 2, dove si può avere teoricamente uno sforzo  $OB_2$  superiore in intensità al peso proprio, ma si prolunga nella fase 3. Questo fatto conferma l'utilità di una attenta ripartizione dello sforzo durante tutto lo svolgimento del passaggio e addirittura di un accertamento preliminare della presenza di appoggi accessibili oltre la fase 3.

9) **Traversata.** La figura 13 rappresenta lo schema statico della traversata orizzonta-

#### IV. EFFETTO DELL'ATTRITO

La presenza dell'attrito modifica tutti gli schemi precedentemente esaminati perché le reazioni d'appoggio non hanno direzione assegnata ma solo devono soddisfare alla condizione geometrica di essere contenute entro l'angolo d'attrito. Viceversa l'esistenza dell'attrito consente la riproduzione dei medesimi schemi anche in assenza di appoggi effettivi. Un esempio chiarifica la situazione. Nella figura 14 a) si può realizzare la decomposizione del peso secondo le componenti  $A_1O$ ,  $OB_1$ , anche in assenza di un appoggio per i piedi, purché l'inclinazione di  $A_1O$  rispetto all'orizzontale (normale alla superficie d'appoggio)

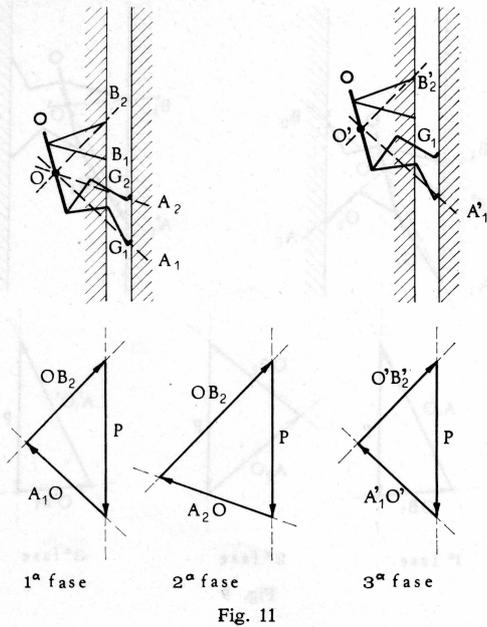


Fig. 11

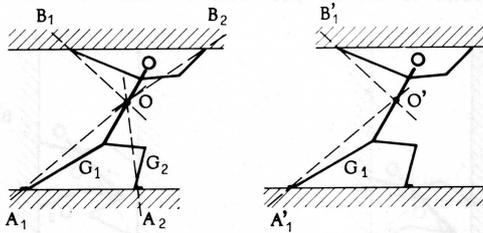


Fig. 13

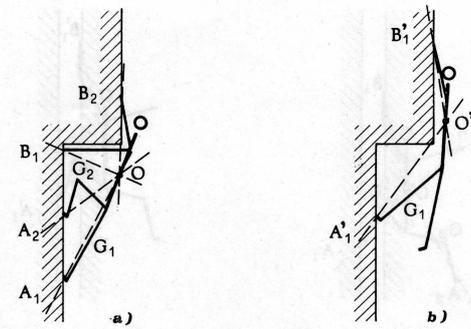


Fig. 12

le verso destra. Al triangolo  $P, A_1O, OB_1$ , si sostituisce, in fase di partenza, il triangolo  $P, A_2O, OB_2$ . In fase d'arrivo si riproduce come al solito il triangolo iniziale. La regola empirica della traversata con avanzamento delle mani rispetto ai piedi si rivela anche in questo caso razionale, perché determina lo spostamento del baricentro  $O$  sulla verticale per  $A_2$  e quindi il maggior carico sulla gamba  $G_2$ .

sia contenuta entro l'angolo d'attrito  $\varphi$ . Viceversa il semplice innalzamento del baricentro da  $O$  a  $O'$  (fig. 14 b) può rendere impossibile il mantenimento dell'equilibrio perché la corrispondente reazione  $A_1O'$  sarebbe esterna all'angolo d'attrito.

Una quantificazione sistematica degli effetti dell'attrito è ovviamente impossibile perché i valori del fattore d'attrito dipendono sensibilmente dalla natura dei corpi a contatto e dallo stato superficiale che può venire occasionalmente modificato dalla situazione meteorologica. Ci limiteremo all'enunciazione di alcuni principi di massima:

a) L'esperienza conferma che, entro certi limiti, il fattore d'attrito *non dipende* dall'estensione della regione di contatto (v. Szabó [3]), sicché due corpi di ugual peso  $P$  (fig. 15 a) e dello stesso materiale, offrono allo spostamento la medesima reazione  $Q$ . Tale risultato è tuttavia illusorio perché il contatto è in pratica accompagnato dalla parziale penetrazione dei due corpi (fig. 15 b) con la conseguente resistenza flessionale allo scorrimento delle parti mutuamente ingranate.

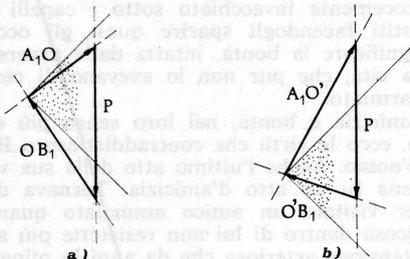
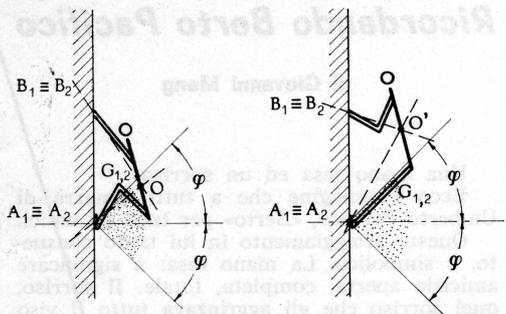


Fig. 14

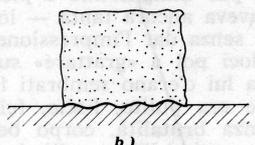
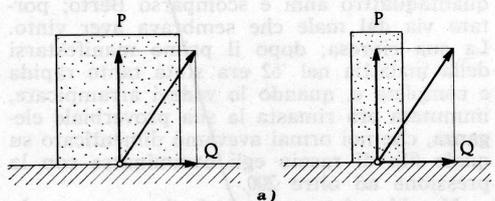


Fig. 15

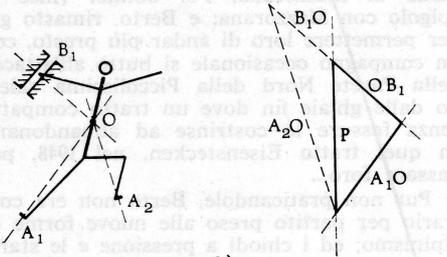
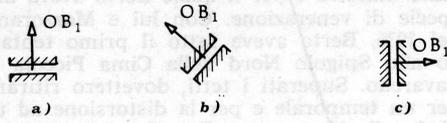


Fig. 16

Sotto questo aspetto la suola deformabile presenta migliori prerogative della suola molto rigida.

b) L'effetto dell'attrito è benefico non solo nei riguardi dell'equilibrio ma anche dell'economia di sforzo, perché consente di variare la reazione d'appoggio entro l'angolo d'attrito in modo tale da rendere minima la componente di sforzo esplicata dalle braccia. Prerogativa dell'arrampicatore esperto è appunto la sensibilità nel giudicare rapidamente i limiti della reazione d'attrito di un determinato appoggio.

c) I movimenti estremi (spaccate troppo larghe, opposizioni troppo inclinate) sono pregiudizievoli agli effetti dell'aderenza perché abitualmente richiedono reazioni d'appoggio che risultano esterne all'angolo d'attrito.

d) I movimenti bruschi sono pure negativi trasformando il contatto in fase dinamica, in cui il fattore d'attrito è notoriamente più basso rispetto al corrispondente caso statico.

L'attrito gioca un ruolo essenziale come si è visto nel funzionamento della suola rigida in gomma. Per disporre di un efficace ingranamento a livello microscopico fra suola e terreno sarebbe opportuno l'impiego di materiali molto deformabili, ma la deformabilità è di solito in contrasto con i requisiti di resistenza necessari per la durata della suola stessa. A questo proposito sarebbe interessante lo studio di un tipo di suola a materiale eterogeneo, deformabile nella parte centrale e piuttosto rigida in quella periferica ove si addensano le maggiori sollecitazioni.

**V. SFRUTTAMENTO DEGLI APPIGLI**

Alcune considerazioni sul modo più razionale di utilizzare gli appigli. Poiché il terreno non presenta quasi mai appigli con disposizione ordinata a taglio orizzontale atti a trazioni verticali (fig. 16 a), ma sovente la generatrice è inclinata o verticale (fig. 16 b, c), si pone l'interrogativo di scegliere la direzione di spinta più idonea a comporsi con uno sforzo di trazione  $OB_1$ , necessariamente perpendicolare ai lembi dell'appiglio stesso. La regola che emerge spontaneamente dall'esame della configurazione di equilibrio è la seguente: «La spinta e la trazione devono avere componenti equiverse secondo la linea d'azione del carico».

Per esempio nella situazione indicata nella fig. 16 d), è la spinta esercitata dalla gamba sinistra sull'appoggio  $A_1$ , quella più favorevole per l'equilibrio, mentre sarebbe controindicata o addirittura impossibile una decomposizione secondo  $OA_2$  e  $OB_1$ . Nel caso specifico  $OB_1$  dovrebbe essere di compressione.

In generale, se l'appiglio è situato a sinistra in alto conviene utilizzare la spinta della gamba sinistra per determinare il sollevamento. Viceversa se a sinistra si trova solo un appiglio basso, utile per un'azione di spinta col braccio sinistro, allora conviene

servirsi della spinta della gamba destra. Tutte queste norme, di automatica applicazione nell'arrampicata, sono in accordo al principio precedente di *equiversità*.

## VI. EFFETTI DELL'ALLENAMENTO

Quali siano i principali risultati dell'allenamento è un interrogativo un po' equivoco perché è necessario distinguere fra i fattori comuni ad ogni attività sportiva e quelli caratteristici dell'alpinismo. I primi, secondo le nozioni moderne (cfr. Hettinger [1], pag. 63) si possono suddividere in quattro categorie: *motilità, coordinamento, durata, forza*.

La motilità concerne i movimenti delle articolazioni per il raggiungimento di posizioni estreme; essa viene migliorata con la ripetizione frequente di esercizi di mobilitazione spesso svolti passivamente. Il coordinamento indica la capacità nervosa di reagire prontamente ad un dato stimolo e dipende più dall'abitudine e dalla concentrazione che dall'allenamento vero e proprio. La durata è la misura della resistenza alla fatica e della capacità di recupero. La forza infine è definita dal massimo sforzo statico che ciascuna massa muscolare è in grado di esplicare. In genere l'allenamento di tipo isotonico agisce sull'accrescimento delle capacità di durata; quello isometrico influenza più direttamente la forza muscolare. Un allenamento razionale, condotto con la dovuta gradualità, può portare ad un aumento del 100% della forza muscolare individuale (cf. Hettinger [1], pag. 92) e del 50% del tempo di durata.

Ben poco è invece noto riguardo alla preparazione per le operazioni spesso impercettibili e inconsapevoli che si compiono nell'arrampicare e che la consuetudine designa vagamente con il nome di *stile, classe* o altro. Non è neppure sicuro che la pratica prolungata dell'alpinismo ne determini un effettivo miglioramento.

In assenza di elementi più certi sembra quindi ragionevole informare questa parte specifica della preparazione secondo il motto (cfr. Nieberl e Hiebeler [2], pag. 132) «con gli occhi prima che con gli arti arrampicare». In termini più circostanziati, l'affinamento e l'abitudine ad un bilancio preliminare di tutte le operazioni da svolgere nel tratto sovrastante e una specie di automatico confronto con la capacità fisica di eseguire le operazioni medesime. In tale disposizione permanente di riflessività e di disciplina l'alpinismo ritrova i suoi valori più formativi.

**Piero Villaggio**

(C.A.I. Sezione di Udine, C.A.A.I.)

## Bibliografia

- [1] HETTINGER, TH.: *Isometrisches Muskeltraining*, Stuttgart (1968).
- [2] NIEBERL, F. e HIEBELER, T.: *Das Klettern im Fels*, Rother (1966).
- [3] SZABÖ, I.: *Einführung in die Technische Mechanik*, Springer (1961).