Considerazioni sull'attrito

Gian Luigi Vaccari

Nelle pubblicazioni che si occupano di alpinismo, compaiono frequentemente articoli a carattere tecnico.

Generalmente essi riguardano la resistenza dei materiali con cui sono costruiti gli attrezzi usati nella pratica dell'alpinismo ed il corretto uso degli stessi in funzione dei limiti di tale resistenza.

Vengono, talvolta, considerati problemi piuttosto complessi di meccanica in cui compaiono varie grandezze fisiche e le loro misure, si fa spesso uso di algoritmi comprensibili solo da un ridotto numero di specialisti.

In tale varietà di scritti raramente, però, mi è capitato di vedere descritti fenomeni in cui si manifestano e vengono studiate le forze di attrito.

Eppure l'alpinismo, come tante altre attività umane, si regge proprio sull'attrito; se tale fenomeno non esistesse l'alpinismo sarebbe impossibile.

L'arrampicata libera su roccia, oggi molto in voga, è l'espressione di uno sfruttamento esasperato, anche se a livello intuitivo, delle forze di attrito.

Se i nodi non si sciolgono, se i metodi di assicurazione dinamica funzionano, se i chiodi non escono dalle loro sedi, se i discensori si rivelano così comodi ecc. tutto ciò è dovuto all'attrito.

Nella pubblicità riguardante le calzature da arrampicata si decantano, spesso con terminologia impropria, le miracolose proprietà di tenuta delle mescole con cui sono costruite le suole. Ciò contribuisce non poco a creare confusione ed illusioni. Infatti come si vedrà meglio in seguito, non è detto che una gomma che « tiene » bene sul calcare, vada altrettanto bene sul granito. Mi è, perciò, parso utile fare alcune considerazioni piuttosto elementari su tale fenomeno senza pretese di rigore assoluto, anche perchè l'attrito è un fatto molto complesso, limitando inoltre l'introduzione di eccessivi formalismi matematici che nella maggior parte dei casi provocano immediate crisi di rigetto.

Ho ritenuto altresì opportuno suddividere l'esposizione di tutto ciò che segue in tre parti:

Forze intermolecolari: vi vengono descritte brevemente le forze che a livello microscopico causano l'attrito.

Forze di attrito: viene presa in considerazione la parte macroscopica di tale fenomeno. Vi si espongono le leggi fisiche che lo governano ed i metodi sperimentali di misura dei coefficienti di attrito.

Applicazioni pratiche: sulla base di quanto riportato nei due paragrafi precedenti vi sono esemplificate alcune situazioni alpinistiche basate essenzialmente sull'attrito.

Forze intermolecolari

È noto che le forze che si esercitano tra molecola e molecola di una sostanza sono di origine elettrica e magnetica. Tutte le molecole contengono cariche elettriche in movimento, inoltre ogni molecola è elettricamente neutra, nel senso che la somma delle cariche negative degli elettroni è uguale ed opposta alla carica del nucleo.

Ciò non significa, tuttavia, che le molecole non interagiscano elettricamente. Ad esempio, quando due molecole si avvicinano l'una all'altra, le cariche su ciascuna sono disturbate e si spostano leggermente dalle loro posizioni normali in modo tale che la distanza media tra cariche opposte nelle due molecole sia leggermente minore di quella tra cariche dello stesso segno.

Ne deriva pertanto una forza attrattiva intermolecolare.

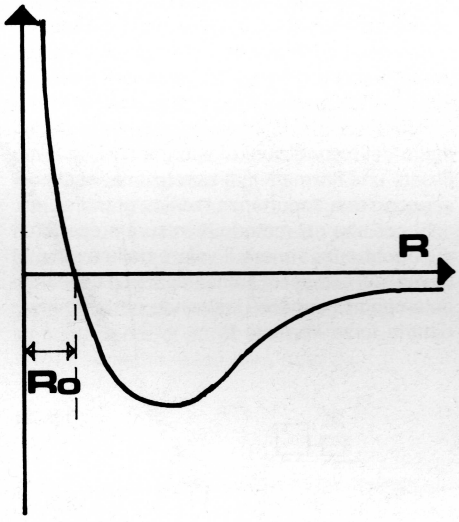
Tale fatto si verifica solo quando le molecole sono abbastanza vicine in modo che queste forze agiscono solo su brevi distanze; sono forze cosidette a **corto raggio.**

Se le molecole subiscono un ulteriore accostamento, tale che le loro cariche esterne incomincino a sovrapporsi, la forza intermolecolare diviene repulsiva. Le molecole si respingono l'una con l'altra poichè non c'è alcun modo per una molecola di modificarsi internamente per prevenire la repulsione degli elettroni esterni adiacenti.

Senza addentrarsi eccessivamente nella teoria è opportuno comunque descrivere graficamente l'andamento delle forze intermolecolari in funzione della distanza R tra i loro baricentri.

Riportando in un sistema di assi cartesiani ortogonali su ascisse la distanza R ed in ordinate la forza interattiva si ottiene il grafico seguente

(fig. 1)



Per valori di R minori di R_o la forza è repulsiva. Per valori maggiori di R_o essa è invece attrattiva e tende ad annullarsi al tendere della distanza ad infinito.

Quando R è uguale ad R_o la forza è nulla: si tratta di una posizione di equilibrio.

Per molecole semplici la distanza R_o, di equilibrio, è di circa $3{,}5 \cdot 10^{-10}$ m. Naturalmente molecole diverse hanno dimensioni e distribuzione interna delle cariche differenti, di modo che le forze intermolecolari variano da molecola a molecola. Tuttavia, tali forze mostrano sempre il comportamento qualitativo riportato nella precedente figura.

Alle forze molecolari vanno attribuiti i fenomeni di **coesione** ed **adesione.**

Le forze di coesione sono quelle che agiscono tra le varie particelle di uno stesso corpo solido. Quelle di adesione si esercitano tra corpi chimicamente diversi posti fortemente a contatto.

A questa ultima categoria di forze appartengono le **forze di attrito.**

Forze di attrito

Lanciando un corpo di massa M con velocità iniziale $\mathbf{v}_o$ su un piano orizzontale sufficientemente lungo, esso alla fine si ferma.

Ciò significa che, mentre il blocco si muove, subisce una accelerazione media **a** di verso opposto a quello del movimento.

Ora, in un sistema di riferimento inerziale, ad ogni accelerazione viene associata una forza definita dalla seconda legge di Newton.

Nel caso suddetto si può pertanto affermare che il piano esercita sul corpo che scivola su di esso una **forza di attrito** il cui valore medio è $M \cdot \mathbf{a}$. In realtà quando le superfici di due corpi scivolano l'una sull'altra, ognuno dei due corpi esercita sull'altro una forza di attrito parallela alla superficie.

La forza di attrito su ciascun corpo è sempre diretta in verso opposto al moto che esso ha rispetto all'altro corpo.

Le forze di attrito possono essere presenti anche se non vi è moto relativo tra i due corpi (attrito statico).

Il fenomeno dell'attrito ha un peso notevole nella nostra vita quotidiana. Ad esempio, qualunque dispositivo in rotazione soggetto al solo attrito si ferma. In un'automobile circa il 20% della potenza del motore viene dissipata per vincere le forze di attrito; l'attrito produce logorio e a volte grippaggio delle parti mobili e molti dispositivi sono stati ideati per ridurlo.

Per contro se esso non esistesse, non potremmo camminare, i trasporti su ruote non esisterebbero e l'alpinismo in tutte le sue manifestazioni sarebbe impossibile.

Mi limiterò in seguito a considerare il solo attrito **radente,** cioè quello che si manifesta tra le superfici a contatto di due corpi che strisciano l'uno sull'altro senza rotolare.

Bisogna osservare, sulla base di quanto detto nel paragrafo precedente, che l'attrito, da un punto di vista microscopico, è un fenomeno molto complicato e le leggi che lo governano sono a carattere empirico e forniscono previsioni approssimate.

Per rendersi conto sperimentalmente di come possano andare le cose si può immaginare un corpo fermo su un piano orizzontale; a tale corpo si colleghi una molla che verrà sollecitata in direzione parallela al piano di appoggio. Si potrà osservare che il corpo non si metterà in moto sotto l'azione di piccole forze. Ciò significa che la forza della molla è equilibrata da una forza di attrito di uguale direzione ma di verso opposto, esercitata dal piano sul corpo e agente lungo la superficie di contatto.

Aumentando la forza applicata (tensione della molla), si raggiungerà un valore per cui il corpo inizierà a muoversi. Il moto, una volta iniziato, risulterà essere accelerato per effetto di tale forza.

In ultimo, riducendo la tensione della molla, si potrebbe raggiungere una condizione di moto uniforme (accelerazione nulla).

Le forze di attrito che agiscono tra superfici a contatto ferme, sono dette forze di **attrito statico.**

La massima forze statica di attrito sarà uguale alla più piccola forza necessaria per iniziare il moto. Una volta iniziato il moto, le forze agenti fra le superfici generalmente diminuiscono, per cui è necessaria una forza più piccola per mantenere il modo uniforme.

Le forze agenti tra superfici in moto relativo sono dette forze di **attrito dinamico.**

La massima forza di attrito statico tra due superfici asciutte e non lubrificate segue le due successive leggi empiriche:

1) Essa è approssimativamente indipendente, entro grandi limiti, dall'area della superficie di contatto.

2) Essa è direttamente proporzionale alla forza « normale ».

Per forza normale si intende (grossolanamente) la forza che un corpo esercita su un altro perpendicolarmente alla superficie di separazione. Più rigorosamente essa è la componente, lungo la direzione perpendicolare alla superficie di contatto, della risultante di tutte le forze esterne agenti sul corpo in esame.

Il rapporto fra il valore massimo della forza di attrito statico e il valore della forza normale è detto **coefficiente di attrito statico.**

Indicando con f_s il modulo della forza di attrito statico, con N il modulo della forza normale e con μ_s il coefficiente di attrito statico si ha:

$$f_s \leq \mu_s N \qquad (1)$$

Il segno di uguaglianza vale solo quando f_s raggiunge il suo valore massimo. La forza di attrito dinamico f_d tra due superfici asciutte e non lubrificate segue le stesse due leggi dell'attrito statico.

Essa è anche pressochè indipendente dalla velocità relativa con la quale le due superfici si muovono l'una rispetto l'altra.

Il rapporto tra il modulo della forza di attrito dinamico ed il modulo della forza normale è detto **coefficiente di attrito dinamico** (μ_d).

Si può scrivere

$$f_d = \mu_d N \qquad (2)$$

È importante osservare che in generale per una data coppia di superfici si ha:

$$\mu_d < \mu_s \qquad (3)$$

I valori di tali coefficienti dipendono dalla natura delle superfici a contatto e possono essere ricavati sperimentalmente.

È curioso sapere che le due leggi dell'attrito furono ricavate sperimentalmente da Leonardo da Vinci (1452-1519) e successivamente riscoperte nel 1699 dall'ingegnere francese G. Amontons.

Lo scienziato francese Charles A. de Coulomb (1736-1806) eseguì molti esperimenti sull'attrito e mise in evidenza la differenza tra attrito statico e attrito dinamico.

A tal proposito mi sembra opportuno descrivere il dispositivo ideato da de Coulomb per ricavare i vari coefficienti di attrito statico; esso è tuttora validissimo in quanto semplicissimo ed efficace.

In figura (2) C_1 e C_2 rappresentano i corpi di cui si vuole misurare il coefficiente di attrito statito relativo μ_s.

Z rappresenta un sistema di zavorre variabile a piacere.

M è una massa nota appesa ad una fune di peso trascurabile e possibilmente inestensibile.

La puleggia P ha come scopo quello di far cambiare direzione alla forza peso M **g** esercitata dalla massa M sul blocco C_1: la rende orizzontale.

N è la forza normale alla superficie piana di C_2 ed è dovuta alla somma delle forze peso di C_1 e della zavorra Z.

È necessario che il blocco C_2 sia perfettamente in piano.

Variando l'intensità della forza normale agendo sulla zavorra Z si trova un valore di **N** per cui il blocco C_1 inizia il moto.

In tal caso la forza di attrito statico f_s raggiunge il suo massimo valore ed è esattamente uguale in direzione e modulo alla forza esercitata dalla massa M, ma ha verso opposto.

Pertanto conoscendo f_s ed **N** è immediato ricavare μ_s.

Dalla formula (1) si ottiene facilmente:

$$\mu_s = \frac{f_s}{N} \qquad (4)$$

o meglio

$$\mu_s = \frac{M_g}{N} \qquad (5)$$

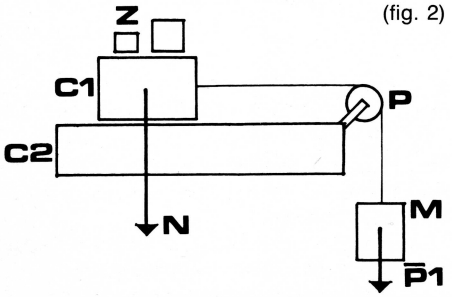
È opportuno osservare che le relazioni 1, 2, 3, 4, 5, sono relazioni tra moduli di forze.

Al crescere della levigatezza dei corpi a contatto diminuiscono le asperità che ostacolano lo scorrimento delle superfici l'una sull'altra, ma cresce la influenza dell'adesione e quindi l'influsso della costituzione dei corpi. Per un opportuno grado di levigatezza il coefficiente di attrito passa per un valore minimo.

I coefficienti così misurati risentono quindi molto delle condizioni di sperimentazione, ma fissata una normativa di esecuzione, essi posseggono una importanza tecnica grandissima.

Si noti che nel metodo di misura precedente si potrebbe far variare il valore della massa M (quindi del suo peso) aumentandola o diminuendola opportunamente lasciando pertanto invariata la forza normale **N**.

(fig. 2)



Risulta, comunque, per diverse ragioni preferibile il primo metodo di esecuzione. A questo punto mi sembra utile aggiungere le seguenti note a carattere vario.

In scala atomica anche la superficie più accuratamente levigata è ben lontana dall'essere piana. Fotografie eseguite con grande ingrandimento mostrano profili paurosamente accidentati.

Si può quindi pensare che quando cue corpi sono posti a contatto, la effettiva area microscopica di contatto sia molto minore dell'area macroscopica apparentemente appoggiata. In qualche caso particolare queste aree stanno nel rapporto di 1 su 10^4.

L'effettiva area (microscopica) di contatto è proporzionale alla forza normale poichè i punti di contatto si deformano plasticamente sotto l'azione degli enormi sforzi che si generano in questi punti.

Molti punti di contatto si comportano in pratica come se fossero saldati insieme a freddo. Questo fenomeno, detto di « adesione superficiale » si manifesta perchè nei punti di contatto le molecole sulle facce opposte delle superfici sono così vicine da esercitare intense forze intermolecolari l'una sull'altra. Quando un corpo è trascinato sopra un altro la resistenza di attrito è associata alla rottura di queste migliaia di piccolissime saldature, che si riformano continuamente mano a mano che si presentano nuovi contatti.

Il coefficiente di attrito dipende da molte variabili, quali la natura dei materiali a contatto, il grado di levigatezza delle superfici, la formazione di pellicole superficiali, la temperatura e l'estensione di tali contaminazioni. Con queste complicazioni non deve sorprendere il fatto che non esista una teoria esatta dell'attrito asciutto e che le sue leggi siano empiriche.

Il fatto che la forza di attrito sia indipendente dall'area apparente di contatto significa, per esempio, che la forza necessaria per porre in movimento un parallelepipedo di gomma su un piano levigato di marmo è la stessa qualunque sia la faccia del parallelepipedo a contatto col piano.

Si può comprendere ciò solo se l'area microscopica di contatto è la stessa per tutte le posizioni del blocco e questo è proprio ciò che accade.

Quando la faccia più estesa è rivolta verso il basso c'è un numero relativamente grande di aree relativamente piccole che sostengono il carico; con la faccia meno estesa appoggiata sul piano sottoposto il numero delle areole a contatto è minore (poichè è minore l'area apparente di contatto), ma l'area di ogni singolo contatto è maggiore a causa della maggior pressione esercitata dal parallelepipedo sovrapposto a questo minor numero di contatti che, però, sopportano lo stesso carico.

Nella realtà alpinistica le condizioni sono di gran lunga differenti da quelle sperimentali di laboratorio: infatti le superfici a contatto non sono così levigate e prive di agenti contaminanti.

Ciononostante i risultati ottenuti dalle prove effettuate in laboratorio possono essere di enorme utilità nella scelta opportuna dei materiali in funzione di un loro uso corretto e della sicurezza in montagna.

Considerazioni pratiche

Tra le innumerevoli situazioni alpinistiche in cui le forze di attrito giocano un ruolo fondamentale, mi limiterò ad analizzarne alcune in cui esse si manifestano con grande evidenza ed importanza.

Affidabilità dei nodi.

Nelle tecniche alpinistiche i nodi vengono principalmente usati per unire tra loro i capi di due corde o fettucce o della stessa corda o fettuccia e per collegare le stesse ad un ancoraggio.

L'affidabilità di un nodo dipende in gran parte da due sue caratteristiche: da come esso è avvolto attorno all'oggetto a cui deve essere fissato (in gergo nautico: dormiente) e da come sono sovrapposti gli avvolgimenti.

Gli avvolgimenti e le sovrapposizioni producono la forza di attrito che, opponendosi ad una eventuale tensione, impedisce lo scioglimento del nodo.

Se non esistesse l'attrito il nodo non sarebbe concepibile.

Mi ridurrò a poche nozioni di tipo propedeutico in quanto la teoria e la pratica dei nodi sono argomenti vastissimi su cui sono stati fatti molti studi riportati in diverse pubblicazioni.

Prima di entrare nel pieno dell'argomento è opportuno chiarire il ruolo della tensione nei cavi.

Si supponga di tenere per un'estremo un cavo al cui altro capo è appeso un corpo di massa M (fig. 3).

Sulla massa M si esercitano due forze: il peso Mg. rivolto verso il basso e la tensione **T** della fune rivolta verso l'alto. Tale tensione è costante lungo tutto il cavo. Tensione significa che ogni elemento del cavo è tirato in versi opposti dagli elementi adiacenti (fig. 4).

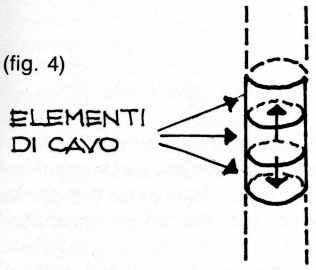
Nel caso precedentemente esposto la reazione vincolare **F** all'estremo superiore della fune uguaglia in valore assoluto e direzione la forza peso applicata all'estremo inferiore.

Supponiamo ora di tenere sollevato il precedente peso facendo passare la fune di sostegno sopra una sbarra cilindrica orizzontale esercitando una forza F sul capo libero.

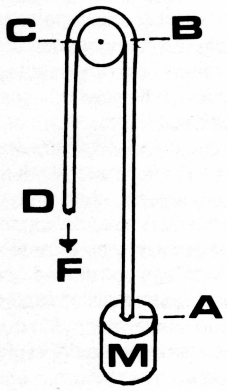
Potrebbe essere il caso di una corda da alpinismo passante in un moschettone a sezione circolare (fig. 5).

(fig. 3)

(fig. 4)



(fig. 5)



La parte di cavo compresa tra i punti A e B è sottoposta ad una tensione uniforme ed uguale a quella del caso precedente.

Viceversa lungo il tratto di cavo a contatto con la sbarra la tensione varia, diminuendo dal punto di contatto B al punto C (fig. 5).

Fra il punto di contatto C ed il punto D in cui è applicata la forza equilibrante F, la tensione è nuovamente costante ma inferiore a quella del tratto AB. Ciò a causa dell'attrito tra cavo e sbarra.

Se ne deduce che è sufficiente una forza F minore di quella di prima per tenere sollevato lo stesso carico.

L'intensità della forza di attrito dipende in parte dalla natura delle superfici a contatto ed in parte dalla lunghezza del tratto di cavo avvolto attorno alla sbarra.

Per ottenere un aumento di tale forza o si varia la composizione dei materiali in uso o si aumenta la lunghezza del tratto di fune a contatto avvolgendola un maggior numero di volte.

Ogni avvolgimento in più comporta una riduzione della trazione che occorre esercitare per reggere un dato peso.

La forza di attrito dipende però, anche dalle sovrapposizione del cavo. In una sovrapposizione, quando il cavo è sottoposto a tensione, la parte sottostante è premuta contro la sbarra (dormiente) dalla parte che lo sormonta. Tale fatto produce un aumento della forza normale e quindi un aumento della forza di attrito.

Un nodo, sarà pertanto affidabile, se l'attrito prodotto sotto tensione sarà sufficiente a contrastare il carico.

Il fatto che un nodo tenga o scivoli dipende dalla sua forma (topologia) e dalle forze di attrito prodotte attraverso gli avvolgimenti e le sovrapposizioni.

Consideriamo un avvolgimento costituito da un numero intero di giri completi. Indichiamo con T_2 la tensione, elevata, sul tratto di cavo a cui è appeso il carico, e con T_1, quella, minore, sul tratto opposto (fig. 6).

Non si avrà scivolamento se T_2 non supererà T_1, di un certo fattore. Questo fattore moltiplicativo è una funzione esponenziale di due variabili: l'angolo, espresso in radianti, di avvolgimento del cavo attorno alla sbarra e il relativo coefficiente di attrito statico.

Precisamente, esso sarà dato da:

$$e^{k\mu_s}$$

dove e è la base dei logaritmi naturali, k è il numero di giri espresso in radianti e μ_s il coefficiente di attrito statico.

Se il cavo fa un giro intero, il fattore è espresso da

$$e^{2\pi\mu_s}$$

e la condizione di non scivolamento risulta:

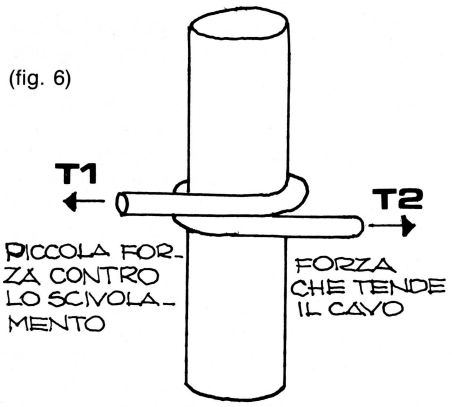
$$T_2 \leq e^{2\pi\mu_s} T_1$$

Se fosse superato tale valore l'attrito verrebbe sopraffatto ed il nodo non potrebbe più trattenere il carico. Se si facessero due giri completi di cavo attorno alla sbarra l'angolo all'esponente diverrebbe 4π e di conseguenza il fattore moltiplicativo risulterebbe:

$$e^{4\pi\mu_s}$$

Si può osservare che in quest'ultimo caso il

(fig. 6)



fattore moltiplicativo è esattamente il quadrato di quello del caso precedente.

Generalizzando tali argomentazioni, se si facessero n giri completi il fattore diverrà:

$$e^{2n\pi\mu_s}$$

e non si avrà scivolamento fintantochè sarà soddisfatta la seguente relazione:

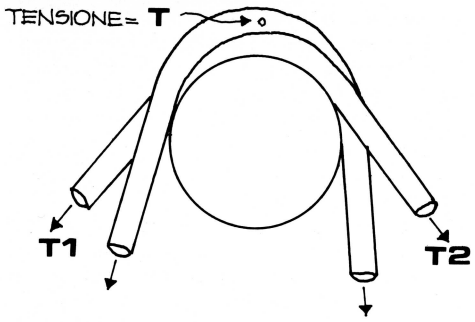
$$T_2 \leq e^{2n\pi\mu_s} T_1$$

Il secondo modo di intervenire sul nodo per aumentare l'attrito consiste, come già accennato in precedenza, nel sovrapporre le volte del cavo.

Dato che le volte superiori premono contro la sbarra quelle sottostanti, queste ultime resistono maggiormente allo scivolamento poichè aumenta la forza normale e quindi l'attrito.

Consideriamo le tensioni ai due capi di un pezzo di cavo che sta sotto una sovrapposizione (fig. 7):

(fig. 7)



Da una parte si ha una grossa tensione T_2 (carico) che tende a far scivolare il cavo, dall'altra la tensione T_1 minore di T_2 che contrasta lo scivolamento. Ma esiste una ulteriore forza opposta a T_2 dovuta all'aumento dell'attrito sulla sbarra.

Tale aumento è dovuto allo schiacciamento da parte della sovrapposizione sottoposta ad una tensione T.

Questa forza di attrito potrà essere, al più, multipla della tensione T trasmessa alla sovrapposizione.

Detto f tale fattore moltiplicativo non si avrà scorrimento se sarà verificata la relazione seguente:

$$T_2 \leq T_1 + fT$$

La valutazione del fattore f non è affatto semplice. Esso, infatti, dipende sia dal coefficiente

di attrito tra cavo e sbarra sia da quello tra cavo e cavo. Esso dipende inoltre anche dai diametri della sbarra e del cavo.
La pressione della volta sovrapposta è in relazione con la geometria del sistema.

B.F. Bayman dell'università del Minnesota ha misurato $e^{2\pi\mu_s}$ ed f per un cavo di nylon avvolto su una sbarra a sezione circolare di acciaio con superficie ben levigata: $e^{2\pi\mu_s}$ è risultato circa 4 ed f circa 0,2.

Con tali elementi in mano si possono studiare le condizioni di tenuta dei nodi più disparati.

È opportuno osservare che le condizioni di tenuta di un nodo saranno espresse matematicamente da sistemi di equazioni, e che il numero delle equazioni sarà legato al numero dei giri e delle sovrapposizioni.

A coronamento di tale digressione a carattere teorico si può affermare, ad esempio, che il nodo del « barcaiolo » tiene se $f < \frac{1}{e^{2\pi\mu_s}}$.

Se questa condizione è soddisfatta, il carico può essere grande quanto si vuole ma non riuscità a sciogliere il nodo.

I conti necessari al raggiungimento di tale risultato sono stati evitati onde non appesantire eccessivamente tali note a carattere divulgativo.

Nel caso di nodi costruiti tra corda e corda le condizioni di tenuta sono più favorevoli in quanto il coefficiente di attrito è maggiore.

Altre interessantissime considerazioni potrebbero essere fatte in molti altri casi. Ad esempio, sul nodo « mezzo barcaiolo » che ultimamente ha acquisito una enorme importanza come freno nella assicurazione dinamica, si potrebbe scrivere a lungo.

Purtroppo tutto ciò richiederebbe molto spazio e... molta matematica, travisando con ciò lo spirito che informa il presente lavoro.

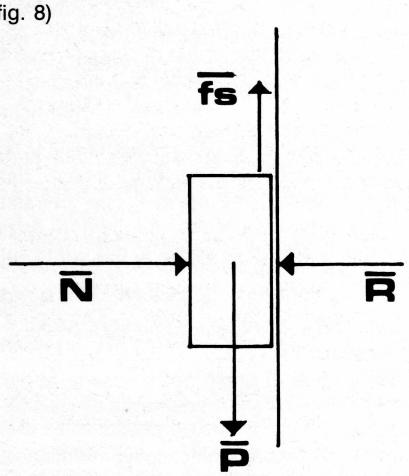
Resta, in ogni modo, evidente l'enorme importanza assunta anche in questo caso (nodi) dalle forze di attrito.

Modelli di situazioni tipiche dell'arrampicata.

Si consideri un oggetto, per semplicità a forma di parallelepipedo, appoggiato contro una parete piana e verticale.

Si supponga che il peso di tale corpo sia di 70 Kg_p e che il suo coefficiente di attrito statico (μ_s), relativo al materiale di cui è costituito il muro, sia ad es. 0,6 (fig. 8). Si vuole calcolare

(fig. 8)



il valore della forza normale necessaria ad impedire la caduta del corpo.

Le forze in gioco sono: il peso dell'oggetto P, la forza normale N, la forza di attrito statico f_s e la componente R, perpendicolare al piano di appoggio, della relazione vincolare.

Si avrà equilibrio solo se la forza di attrito avrà un valore assoluto uguale a quello del peso del corpo.

Ricordando la formula (1): $f_s = \mu_s N$, dovendo essere $f_s = P$ ne segue che $\mu_s N = P$ da cui $N = \frac{P}{\mu_s}$

Nel nostro caso essendo $P = 70\ Kg_p$ e $\mu_s = 0{,}6$ si può dedurre che $N = \frac{70}{0{,}6}$ $Kg_p = 116{,}67\ Kg_p$. Tale forza normale è maggiore della forza peso.

Se il coefficiente di attrito fosse ad es. $\mu_s = 0{,}7$ si avrebbe $N = 100\ Kg_p$, ed ancora se fosse $\mu_s = 0{,}8$ si otterrebbe $N = 87{,}50\ Kg_p$.

Si può pertanto capire che un aumento del valore del coefficiente di attrito produce una diminuzione notevole della forza normale necessaria all'equilibrio. Tale situazione teorica può avere interessanti riscontri nella realtà alpinistica. Il blocco, infatti, può essere pensato come il corpo di un arrampicatore avente lo stesso peso durante il superamento « alla Dülfer » di una fessura verticale con bordi levigati.

Bisogna anche immaginare che il suddetto atleta calzi scarpe con suole aventi lo stesso coefficiente di attrito statico, relativo alla roccia in questione, dell'esempio teorico fatto.

La forza normale, in questo caso, sarà uguale in modulo alla forza di trazione che le braccia esercitano sul bordo della fessura opposto a quello su cui stanno i piedi.

Si può commentare che tali valori di forze normali sono parecchio elevati e richiedenti doti fisiche fuori del comune. È bene, però, osservare che tali deduzioni sono state ottenute supponendo le superfici a contatto accuratamente levigate. In realtà ciò non accade con il risultato di far diminuire molto lo sforzo dell'alpinista.

Consideriamo, ora, una situazione meno atletica della precedente. Immaginiamo una placca ben levigata su cui si trovi l'arrampicatore schematizzabile con il consueto parallelepipedo (fig. 9).

α rappresenta la misura in gradi dell'inclinazione della placca sull'orizzontale, P è il peso dell'oggetto (alpinista). P senα e P cosα sono rispettivamente le componenti tangenziale e normale al piano inclinato della forza peso P.

R_n è la componente normale della reazione vincolare ed f_s la forza di attrito statico.

Prendiamo in esame i due seguenti casi pratici:

1) $\mu_s = 0{,}8$ $\quad P = 70\ Kg_p$ $\quad \alpha = 30°$

con questi valori calcolo P senα = 35 Kg_p e $f_s \leq \mu_s$ P cosα = 48,50 Kg_p.

Da tali risultati si può dedurre che, potendo la forza di attrito raggiungere un valore massimo di 48,50 Kg_p, l'equilibrio è tranquillamente assicurato.

Infatti alla componente attiva del peso, unica forza in grado di far scivolare il blocco, si oppone una forza di attrito di ugual modulo e direzione ma con verso contrario.

2) $\mu_s = 0{,}8$ $\quad P = 70\ Kg_p$ $\quad \alpha = 45°$

con questi dati si ottiene: P senα = 49,50 Kg_p e $f_s \leq \mu_s$ P cosα = 39,60 Kg_p.

Essendo, in questo caso, la massima forza di attrito minore della componente attiva della forza peso, l'equilibrio non sarebbe possibile e si avrebbe scivolamento.

Volendo trarre qualche insegnamento da tutto ciò che precede si può affermare che per aumentare una forza di attrito non vi sono che due modi: migliorare il coefficiente di attrito con opportune scelte di materiali o aumentare la forza normale.

Nell'ambito della costruzione delle scarpe da arrampicata all'incremento dei valori del coefficiente di attrito delle suole si oppongono motivi teorici e anche pratici. Tralasciando ulteriori dissertazioni teoriche è invece semplice comprendere i motivi pratici: ad un aumento del coefficiente μ_s corrisponde generalmente una maggiore morbidezza del materiale usato (la gomma delle suole) a scapito però della resistenza all'usura.

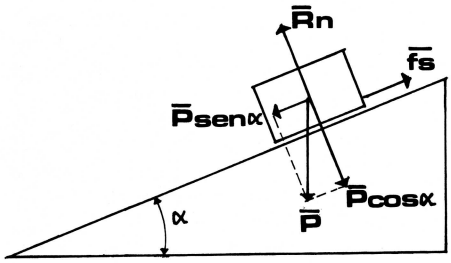
Si tratta quindi di trovare un ragionevole compromesso tra tali variabili. Meno problemi si frappongono, invece, ad un incremento della forza normale. Infatti essa deriva, quasi sempre, dalla forza muscolare dell'arrampicatore, ed in particolare dall'uso corretto ed oculato di tale forza.

Proprietà queste, sviluppabili con opportuno ed accurato allenamento.

Questo, però, è argomento ben diverso dall'attuale su cui mi riservo tuttavia di ritornare in futuro.

Si potrebbe continuare ad esemplificare ancora a lungo, ma problemi di spazio e soprattutto di digestione da parte del lettore mi suggeriscono di non eccedere. L'importante è che, da quanto esposto, traspaia l'enorme valore che nella pratica alpinistica, hanno queste trascurate ma onnipresenti forze di attrito.

(fig. 9)



Conclusione

Volendo trarre qualche insegnamento da tutto ciò che precede si può dire che per aumentare una forza di attrito non ci sono che due modi: migliorare il coefficiente di attrito o aumentare la forza normale.

Purtroppo all'incremento dei valori di μ_s si oppongono motivi teorici e anche pratici. Tralasciando ulteriori dissertazioni teoriche è invece semplice comprendere i motivi pratici: infatti ad aumento del coefficiente μ_s corrisponde generalmente una maggior morbidezza del materiale in questione (nel nostro caso ad es, la gomma della suola delle scarpe) a scapito però della resistenza dell'usura.

Si tratta quindi di trovare un ragionevole compromesso tra tali variabili, Meno problemi si frappongono invece ad un incremento della forza normale. Infatti essa deriva, quasi sempre, dalla forza muscolare dell'arrampicatore ed in particolare dall'uso corretto ed oculato di tale forza: proprietà queste, sviluppabili con opportuno ed accurato allenamento. Ma questo è argomento ben diverso dall'attuale, su cui però, mi riservo di ritornare in seguito.