# IL "FATTORE DI CADUTA" QUESTO SCONOSCIUTO

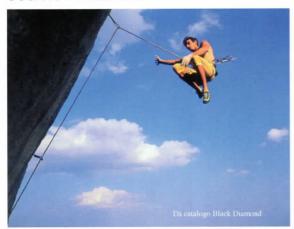
Vittorio Bedogni, Carlo Zanantoni Centro Studi Materiali e Tecniche

### 1 - PREMESSA

Nel mondo dell'arrampicata e dell'alpinismo si fanno spesso considerazioni sulla catena di sicurezza e si sente frequentemente parlare di "fattore di caduta" quando ci si riferisce alla gravità di una caduta del capocordata. Si tende spesso ad associare un elevato "fc" a un volo "importante" con conseguenze anche critiche per l'intera catena di sicurezza; per converso si tende a sminuire un "voletto" di piccola entità classificandolo automaticamente a basso "fc", generalmente prescindendo dalla configurazione della catena di sicurezza. Questo modo di analizzare una caduta può risultare particolarmente critico: usare il concetto di "fc" in presenza di rinvii e di assicurazione dinamica può portare a valutazioni completamente errate delle forze in gioco.

Con questo lavoro si cerca di fare chiarezza sul concetto di fattore di caduta, o meglio sul suo utilizzo, in modo da evitare incomprensioni e conclusioni errate.

### 2 - IL "FATTORE DI CADUTA": COSA RAPPRESENTA?



Durante una ascensione il pericolo soggettivo maggiore è rappresentato dalla CADUTA.

Ci si chiede frequentemente quanto vale la Forza di Arresto<sup>3</sup>, cioè la forza esercitata dalla corda nell'istante in cui questa raggiunge la massima tensione, a causa di una caduta libera del capocordata. Le risposte che si sentono sono spesso bizzarre. Questo è molto spesso motivato dalla poca familiarità nei confronti dei fenomeni fisici che regolano una caduta. Per fare chiarezza, è necessario riferirci alla caduta libera verticale di una massa rigida in cui la corda, collegata a una estremità alla massa che cade, è rigidamente fissata all'altra estremità a un ancoraggio fisso (vedremo nel seguito situazioni più vicine alla pratica comune).

La considerazione di base per una corretta impostazione del problema è che il capocordata che cade acquista energia cinetica legata alla sua massa e alla velocità di caduta libera (che cresce linearmente col tempo). Nell'istante in cui la corda incomincia a tendersi la velocità inizia a diminuire4 fino all'arresto, seguito poi da vari rimbalzi che, smorzandosi, porteranno alla cessazione completa del moto. Quello che a noi interessa è quanto avviene fino al momento del primo arresto che, per inciso e nell'ipotesi fatta di caduta verticale e di corda bloccata, corrisponde al punto di massimo abbassamento e di massima forza<sup>5</sup>. Visto che in corrispondenza del punto di massimo abbassamento la velocità (e quindi anche l'energia cinetica associata) è nulla e che in natura l'energia "non si disperde ma si trasforma", la domanda che ci si pone è: "dov'è finita tutta l'energia cinetica acquistata dalla massa?". La risposta è abbastanza scontata: la corda durante la trattenuta si è deformata incorporando energia di deformazione e quindi tutta l'energia di caduta si è trasformata in deformazione della corda. Se l'altezza di caduta cresce, cresce altrettanto la quantità di corda utilizzabile per l'assorbimento di energia; non stupisce quindi che la "FA" non dipenda dall'altezza di caduta ma dal rapporto tra l'altezza di caduta e la corda disponibile, cioè da "fc" che chiameremo fattore di caduta geometrico o, semplicemente, fattore di caduta. La dimostrazione di quanto detto è riportata nell'appendice C del manuale del CAI "I MATERIALI PER ALPINISMO E LE RELATIVE NORME". Siamo in grado ora di rispondere correttamente alla domanda che c'eravamo posti sul valore della "FA": questa forza dipende dal peso della massa che cade, dalle caratteristiche meccaniche della corda (materiale, tessitura.. che ne determinano l'allungabilità) e dal fattore di caduta ma non dall'altezza di caduta come intuitivamente si potrebbe pensare. In queste ipotesi (e solo in queste ipotesi) il "fc" esprime compiutamente la gravità di una caduta in termini

di forze che si generano nel collegamento, esercitato dalla corda, tra punto fisso e massa che cade: quanto più il "fc" è grande, tanto maggiore risulta la forza. Dalla definizione di "fc" risulta che il suo massimo valore è 2 (tralasciando per semplicità casi particolari).

# 3 - IL "FATTORE DI CADUTA" È SEMPRE UTILIZZATO CORRETTAMENTE?

La domanda non è peregrina perché il "fc" è spesso utilizzato analizzando situazioni reali le più varie quali ad esempio:

- l'estremità opposta della corda rispetto al capocordata non è bloccata a un punto fisso, bensì scorre attraverso un freno (assicurazione dinamica);
- tra il punto fisso della sosta e il capocordata esistono attriti generati da punti di protezione o dal contatto della corda con la parete;
- la caduta può non essere sulla verticale del punto di ancoraggio, generando un pendolo;
- la caduta può avvenire su un pendio inclinato, per esempio un pendio di neve/ghiaccio;
- combinazioni dei casi precedenti.

In tutti questi casi l'uso del "fc", così come geometricamente definito, non è corretto quando viene a esso collegata la gravità della caduta. Nel seguito, ogni qualvolta si farà riferimento al "fc" con questo scopo, si parlerà di "uso convenzionale" del "fc". Nel seguito si analizzano varie situazioni; sarà bene premettere che non ci si propone di suggerire una formulazione per un appropriato "fattore di caduta" per i vari casi; alcuni autori lo hanno fatto, con risultati di scarsa utilità. Se ne farà cenno nelle conclusioni.

#### 3.1 - LA PRESENZA DI UN FRENO

La presenza di quest'attrezzo nella catena di sicurezza, per altro rispondente a prassi comune, fa venir meno il presupposto principale da cui la definizione di "fc" prende origine: "tutta l'energia di caduta si trasforma in energia di deformazione della corda". L'attrito generato dallo scorrimento della corda attraverso il freno dissipa una frazione dell'energia di caduta, quindi riduce l'energia che la corda deve assorbire. Questo porta a un abbassamento della "FA". Dunque, l'uso convenzionale della definizione di "fc" porterebbe a sovrastimare la "FA", a parte il fatto che il concetto di "fc"

geometrico non sarebbe applicabile, sia perché una estremità della corda non è bloccata, sia perché non è definibile una lunghezza di corda, che viene a dipendere dalla quantità che ne scorre attraverso il freno. A questo aspetto energetico è da aggiungere un'altra considerazione molto importante: la presenza del freno presuppone una "assicurazione dinamica" in cui la "FA" è strettamente legata all'inerzia della mano dell'assicuratore al movimento di questa e all'eventuale scorrimento della corda nella mano, quindi in buona parte indipendente dal "fc"; in questo caso ci sarà una forte dipendenza dell'entità della "FA" dallo scorrimento della corda nel freno, crescente con l'altezza di caduta.

#### 3.2 - LA PRESENZA DI PUNTI DI PROTEZIONE O, GENERICAMENTE, DI PUNTI DI ATTRITO

Anche in questo caso l'uso convenzionale di "fc" viene meno, in quanto la corda scorre nei moschettoni dei rinvii o sui punti di attrito dissipando energia e quindi rendendo di nuovo inapplicabile l'utilizzo del "fc"; inoltre i punti di attrito modificano le tensioni presenti nei vari tratti e di conseguenza anche le energie da essi assorbite. Questa volta però non ci si trova, con l'uso convenzionale di "fc", dalla parte della sicurezza, come nel caso precedente, poiché nella maggior parte dei casi la stima di "fc" è fatta valutando correttamente l'altezza di caduta libera (pari al doppio dell'altezza del capocordata sopra l'ultimo rinvio) ma compiendo un errore nel computo della lunghezza totale di corda (sommando cioè i singoli tratti tra due rinvii successivi). Questo sarebbe corretto se tutti i tratti di corda avessero la stessa tensione come avverrebbe se non ci fosse attrito. Nella realtà l'attrito, oltre a sottrarre direttamente parte dell'energia di caduta. contribuisce anche a modificare le tensioni nei vari tratti e quindi a far sì che l'assorbimento di energia avvenga in modo disuniforme: gli ultimi tratti (quelli più vicini al rinvio più alto) risultano molto più sollecitati che non gli altri. Questo porta a sottostimare la forza sul corpo che cade se si usa in modo convenzionale il valore di "fc".

# 3.3 - CADUTA FUORI DALLA VERTICALE DELL'ULTIMO RINVIO (PENDOLO)

Per questo caso la non conformità con le ipotesi che stanno alla base dell'utilizzo convenzionale di "fc", sta nel fatto che, in corrispondenza del punto più basso raggiunto (quello che nella caduta verticale a corda bloccata corrisponde al termine della caduta), la massa

#### **MATERIALI E TECNICHE**

possiede ancora una certa energia cinetica dovuta alla velocità trasversale della pendolata che va a sottrarsi all'energia assorbita dalla corda. Questo porta a una "FA" inferiore rispetto a quanto ci si aspetterebbe dall'utilizzo convenzionale di "fc". Questa riduzione è tanto maggiore quanto più grande è il disassamento della linea di caduta rispetto al punto fisso. Pertanto una caduta del capocordata (o del secondo) a partire da una quota identica a quella della sosta e in assenza di rinvii, genera una "FA" più bassa di quella che si avrebbe se calcolata a partire da fc=1 come erroneamente si potrebbe credere.

3.4 - CADUTA LUNGO UN PENDIO INCLINATO In questa situazione, se si prescindesse dall'attrito radente tra la massa che cade e il pendio e quindi dalla conseguente dissipazione di parte dell'energia di caduta come intuitivamente si può capire, l'utilizzo di "fc" sarebbe ancora praticabile con una piccola attenzione: il campo gravitazionale agisce lungo la verticale e non lungo la pendenza della parete e di questo bisogna tener conto!

Quindi il "fc" andrebbe ricalcolato sulla base dell'altezza di caduta misurata in verticale e quindi, detto l'angolo del pendio rispetto all'orizzontale, risulterebbe fc=2 sen  $\alpha$ . Qualitativamente e intuitivamente si può capire che "fc" cresce con la pendenza coincidendo con la definizione classica in caso di parete perfettamente verticale ( $\alpha$  = 90°).

Come si vede, molteplici sono le situazioni in cui l'utilizzo convenzionale e in modo acritico del fattore di caduta può essere fuorviante e, soprattutto, può sottostimare la pericolosità della caduta in termini di forza d'arresto, come nel caso della presenza di punti di attrito. Risulta altrettanto chiaro come la combinazione dei casi sopra riportati, che corrisponde poi alla realtà che si riscontra in parete, sia di difficile valutazione. Dunque l'utilizzo di "fc" è da prendere decisamente con le pinze nei casi indicati onde evitare fraintendimenti.

## 5 – CONCLUSIONI

Si è voluto approfondire il significato di fattore di caduta o, meglio, del suo utilizzo nella "valutazione convenzionale" della FA (sia in termini quantitativi che qualitativi), evidenziando situazioni in cui il suo uso potrebbe essere inappropriato con conseguenze in alcuni casi anche pericolose; questo porta a scoraggiare l'uso di tale parametro per valutare la gravità di una caduta se non nel caso particolare per il quale è stato definito, oppure avendo l'accortezza di circostanziare correttamente le condizioni in cui è stato impiegato. In generale si può riassumere che l'utilizzo di "fc" secondo la "valutazione convenzionale" porta a:

- sovrastimare la "FA" nel caso di assicurazione dinamica;
- a sottostimare la "FA" nel caso di presenza di attriti nella catena di sicurezza;
- a sovrastimare la "FA" nel caso di caduta con pendolata del capocordata.

Volendo, si potrebbe parzialmente costruire una definizione più complessa del "fc" che tenga conto almeno della diversa distribuzione delle tensioni nei vari tratti di corda tra punti di attrito successivi come hanno fatto alcuni autori. Questo risulterebbe comunque parziale (non valuta correttamente l'energia dissipata direttamente per attrito) e di difficile applicazione. Per questo motivo si è preferito limitarci a riportare i possibili inconvenienti che l'uso non corretto del "fc" comporta e sottolinearne gli aspetti qualitativi.

Nel caso di assicurazione dinamica, pur essendo vero che, se i punti di attrito sono inesistenti o trascurabili, l'uso di fc può portare a una sopravalutazione della forza di arresto, è rischioso l'errore che si fa nel caso opposto, frequente, di una catena di sicurezza caratterizzata dalla presenza di molti punti di attrito. In questo caso la situazione reale può essere molto più critica di quanto a prima vista "fc" possa far credere: l'attrito determina una distribuzione della tensione nei vari tratti di corda tale che i più vicini al freno contribuiscono poco all'assorbimento di energia, lasciando gran parte di tale incombenza all'ultimo tratto, che può risultare particolarmente sollecitato, accrescendo così la forza che agisce sia sul corpo di chi cade che sull'ultimo rinvio. Quest'ultimo, si ricordi, subisce la sollecitazione dei due tratti di corda, a monte e valle.

#### Note

- 1 L'articolo qui riportato è un estratto dell'articolo più completo disponibile, con lo stesso titolo, sul sito del CSMT.
- 2 Nel seguito verrà riportato anche in forma abbreviata come "fc". Si ricordi che "fc" è geometricamente definito come rapporto tra l'altezza di *caduta libera e verticale* H, e la *lunghezza della corda* L, con corda bloccata all'ancoraggio cioè fc=H/L.
- 3 Nel seguito questa forza verrà anche indicata in forma abbreviata con "FA".
- 4 Per la precisione questo avviene soltanto quando la tensione nella corda avrà superato la forza peso del corpo che cade; fino a quell'istante il corpo continuerà ad aumentare la sua velocità anche se in maniera decrescente.
- 5 Per l'esattezza la corrispondenza dell'istante di massimo abbassamento con quello di massima forza si può avere *solo* nell'ipotesi, qui di seguito utilizzata per semplicità di esposizione, in cui la tensione nella corda dipende esclusivamente dalla sua deformazione e non anche dalla velocità di deformazione; in quest'ultimo caso i due istanti non sarebbero coincidenti.
- 6 Vedere dispensa del CSMT "Le tecniche di assicurazione in parete" marzo 2001.