

LE FORZE NELLA PROGRESSIONE, USURA MATERIALI E ATTREZZI FRAGILI

Nella progressione speleo il pericolo esiste anche quando tutto sembra rientrare nella normalità. L'apparenza inganna e molti frequentatori sotterranei non conoscono il materiale che usano e quali rischi comporti il suo abbandono in grotta.

In questa pagine presentiamo la prima ricerca svolta dal CRASC con le nuove strumentazioni in dotazione. Una ricerca molto pragmatica che vuole mettere in relazione tre fatti:

- valutazione delle sollecitazioni prodotte nella normale progressione e in manovre di uso consueto nel soccorso rapido;
- valutazione di un caso di usura di materiale lasciato per molto tempo in grotta (corde e moschettoni);
- valutazione dell'affidabilità di alcuni materiali disponibili in commercio.



1. Le forze nella normale progressione in grotta
 - Principio di D'Alambert
 - Salita di una persona (80 kgp)
 - Salita di una persona (95 kgp)

- [Salita di due persone \(175 kgp\)](#)
 - [Discesa normale di una persona \(95 kgp\)](#)
 - [Discesa veloce di una persona \(95 kgp\)](#)
 - [Discesa di due persona \(175 kgp\)](#)
2. [Usura dei materiali: il caso della Grotta del Chiocchio in Umbria \(Spoleto\)](#)
 - [La corda Edelrid SS 10 mm nuova/usata Chiocchio \(n. 6 campioni\)](#)
 - [La corda Beal Antipodes 10,2 mm nuova/usata Chiocchio \(n. 2 campioni\)](#)
 - [I moschettoni in lega \(n. 4 campioni\)](#)
 3. [Fragilità e affidabilità delle attrezzature in vendita](#)
 4. [Conclusioni](#)

Le forze nella normale progressione in grotta (Principio di D'Alambert)

Nell'ambito delle nostre osservazioni terrestri (quindi soggetti alla forza di gravità) il Principio di d'Alambert afferma che nella *dinamica* (cioè quando le masse sono in movimento) valgono le stesse leggi della *statica* (masse ferme) purché alla forza peso P (quella che la forza di gravità produce su una massa di peso P) si sommi (algebricamente) la Forza d'Inerzia F_i :

$$F = P + F_i$$

dove:

$$F_i = m \times a = \textit{forza d'inerzia}$$

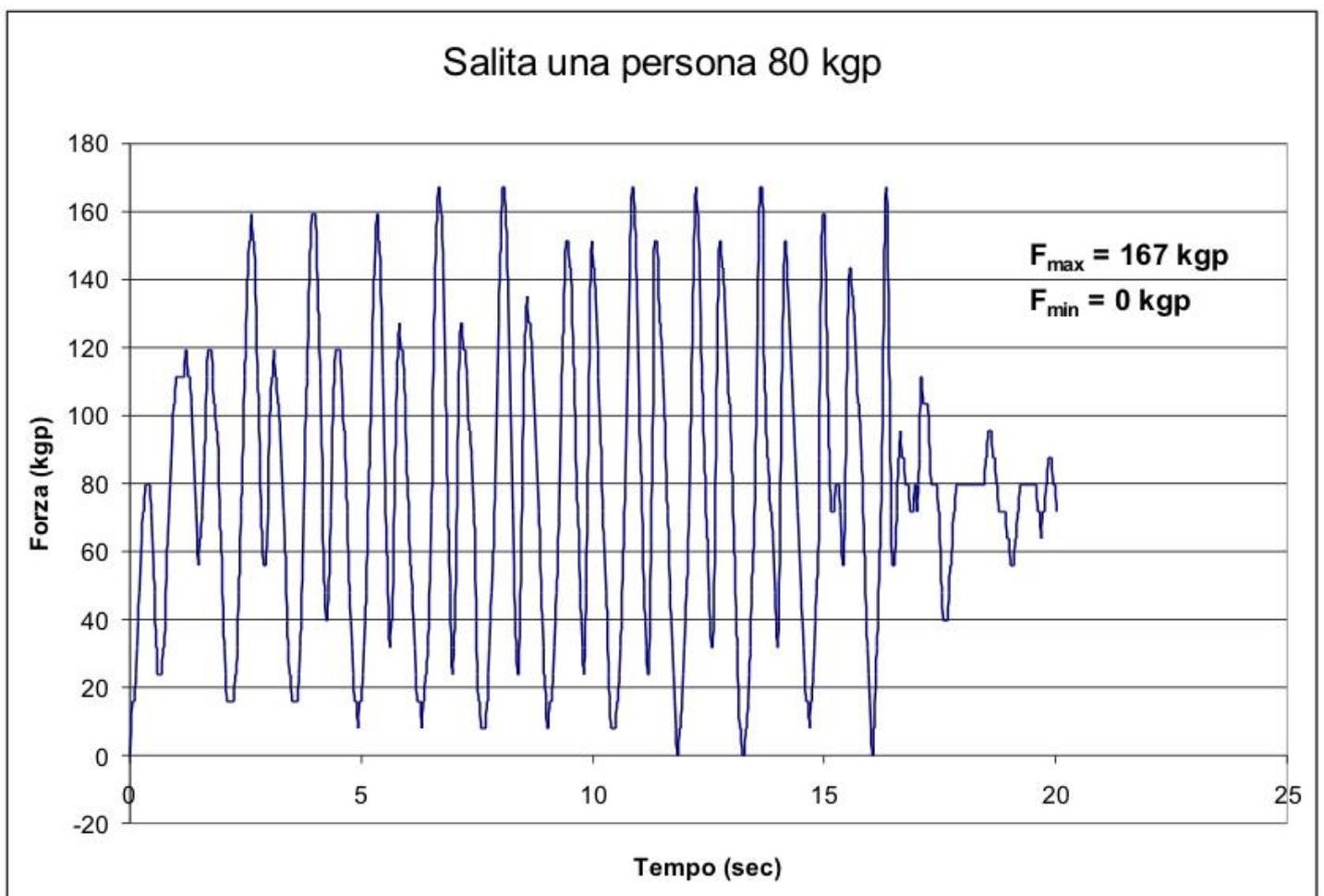
$$m = \textit{massa}$$

$$a = \textit{accelerazione}$$

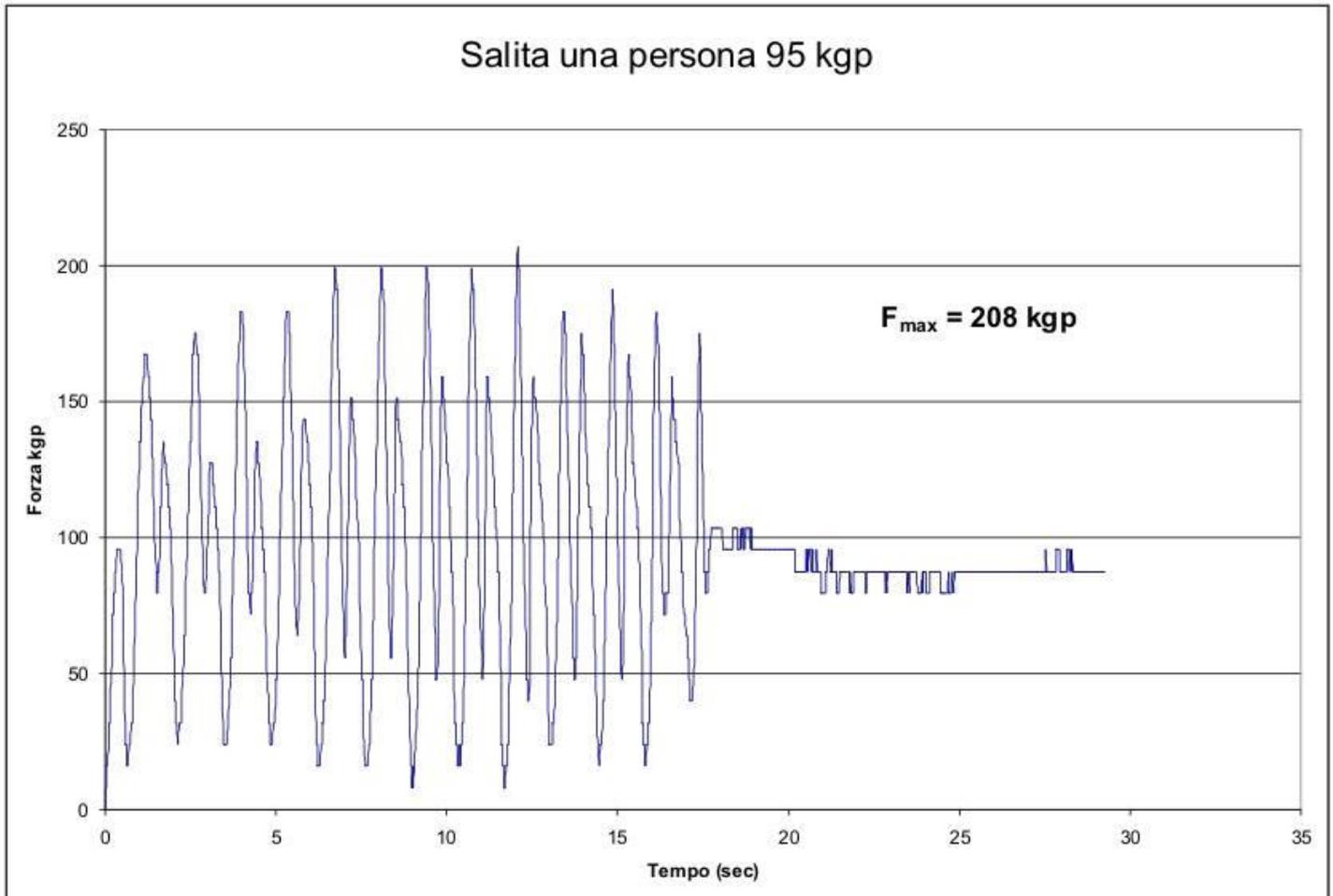
L'accelerazione (velocità/tempo) si manifesta quando la velocità (spazio/tempo) della massa m varia. Se l'accelerazione varia lentamente produce un aggiunta di forza minimo, se varia

bruscamente la forza F_i che si aggiunge al peso P è molto rilevante. Per esempio: se con il discensore si frena dolcemente e in modo costante, al peso P si aggiunge una forza non eccessiva; se per contro si frena bruscamente, l'accelerazione è elevata e la forza che si aggiunge al peso P è molto rilevante se non addirittura eccessiva.

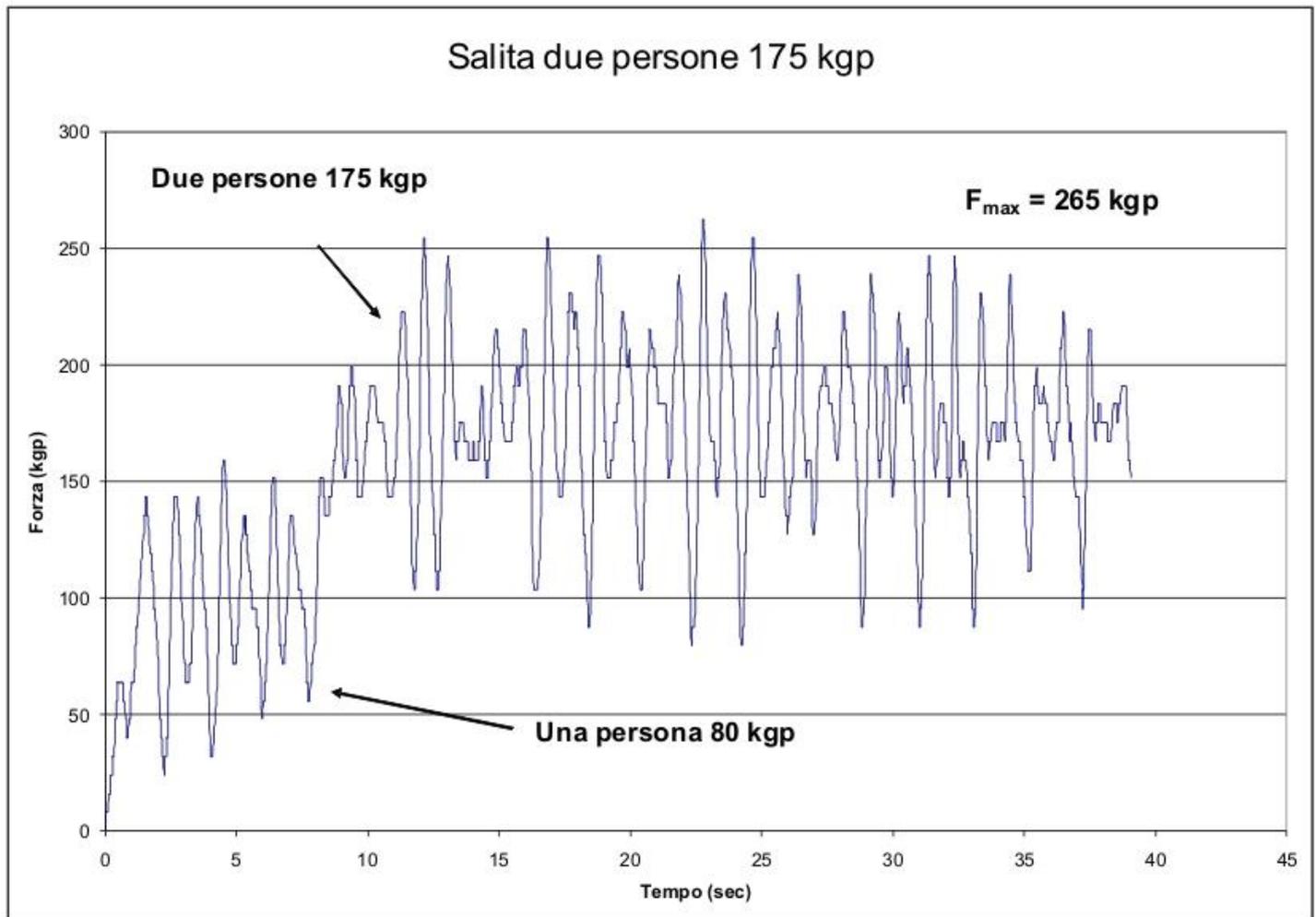
Per meglio comprendere il fenomeno analizziamo i grafici che seguono, ottenuti il 2 luglio 2010 nella torre del CRASC a Costacciaro, che mettono in evidenza il variare nel tempo della forza F applicata alla corda di progressione.



Un persona di 80 kgp ha inserito i bloccanti nella corda al tempo zero e si è messo in sospensione statica (primo picco a 80 kgp). Dopo ecco la prima pompata (120 kgp) e quindi ritmicamente tutte le successive (ogni picco una) fino a coprire gli 8 m di corda disponibili. La forza registrata ha variato fra 167 kgp e zero kgp. Nel momento della massima spinta il corpo pesava più del doppio e dopo la spinta ha pesato anche zero kgp! Questo è dovuto al fatto che la forza d'inerzia è un "vettore" e si manifesta in un senso o nel senso opposto: delle volte si somma al peso, delle volte si sottrae.

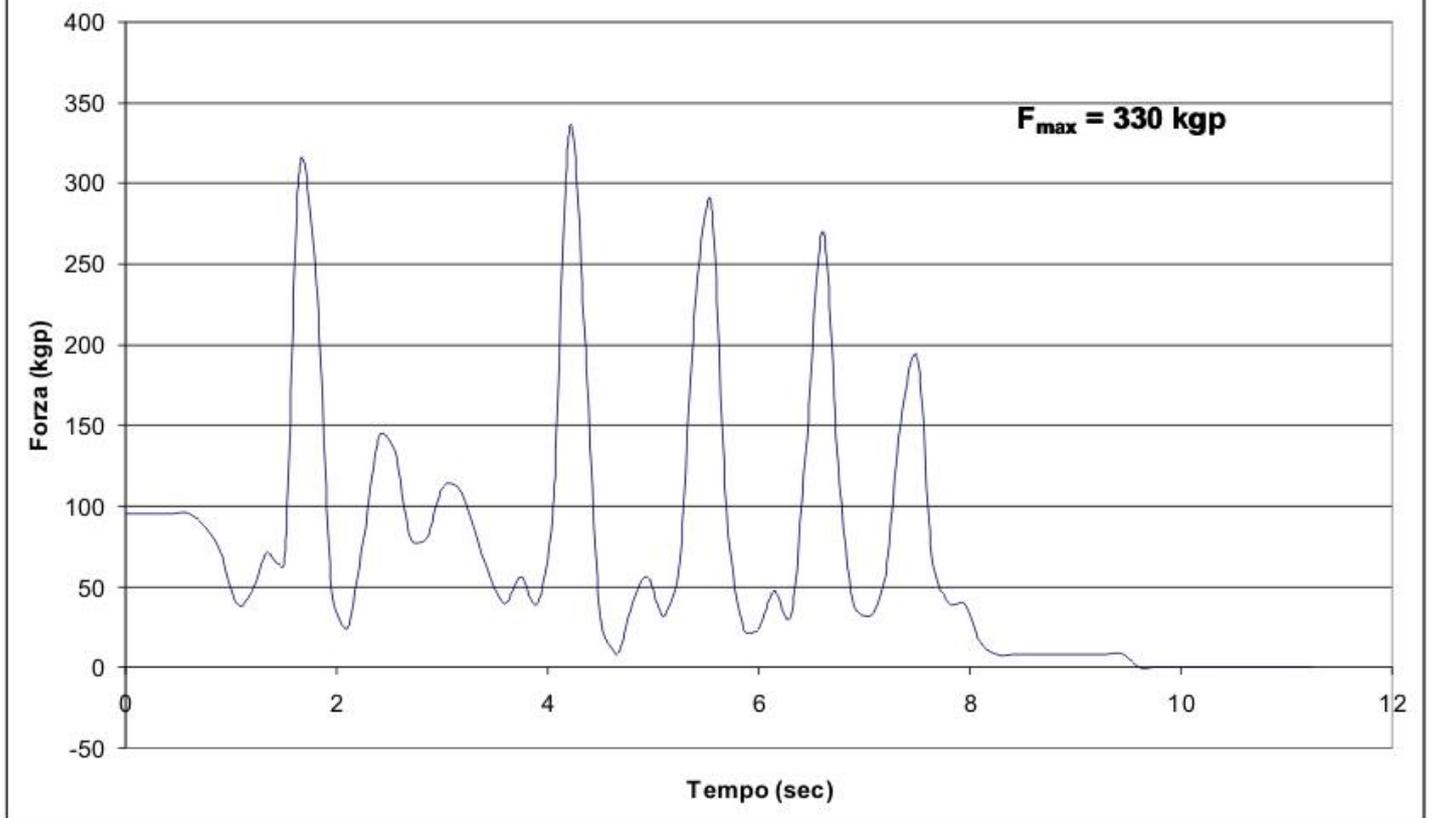


Se la persona che sale è di 95 kgp di concettuale non cambia nulla rispetto al caso precedente; cambiano solo i valori di forza registrata che vanno da quasi zero a 208 kgp.

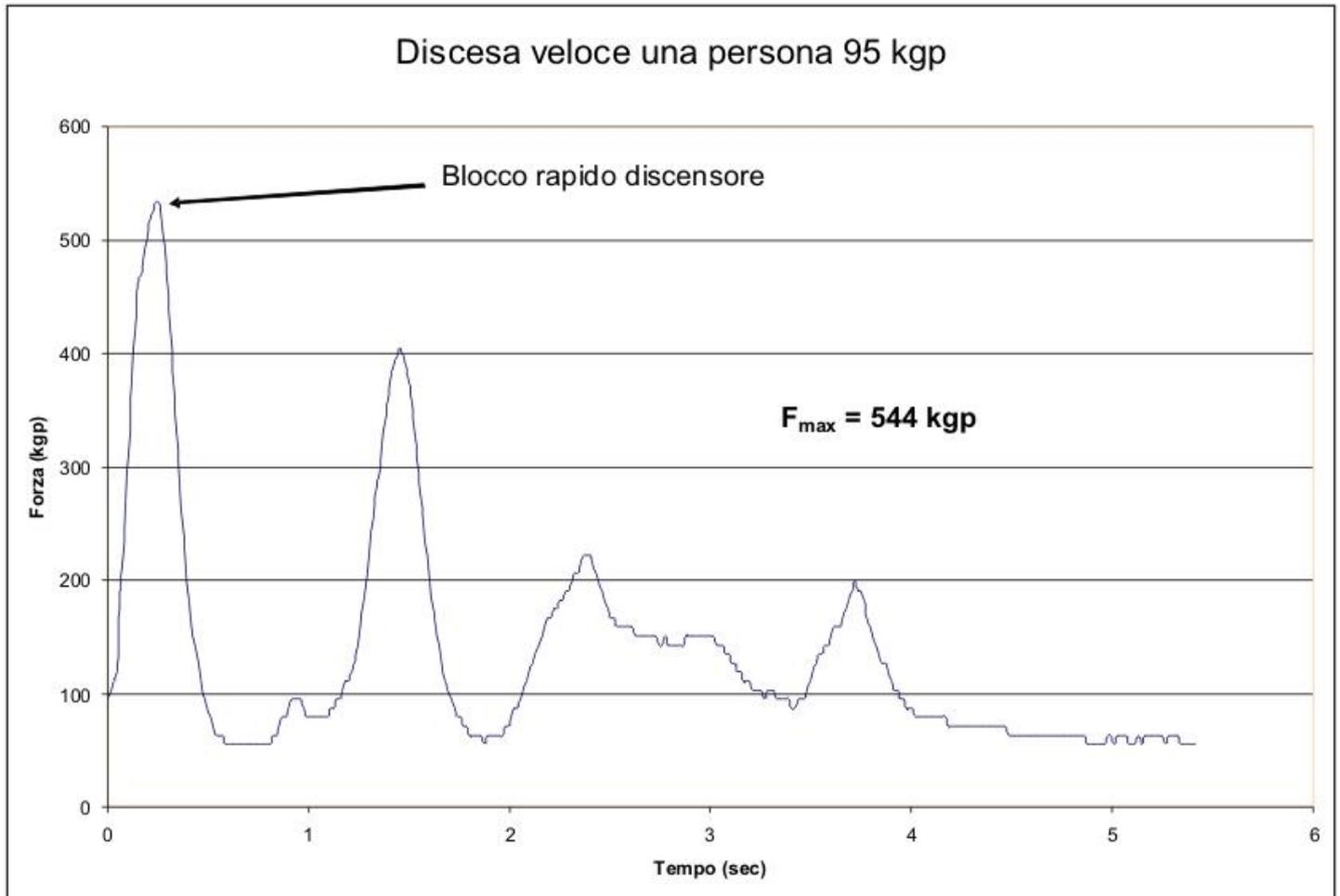


Capita, specie durante occasioni didattiche, che due persone, in questo caso per complessivi 175 kgp, salgano contemporaneamente sulla stessa corda. I primi picchi si riferiscono alla messa in carico della prima persona di 80 kgp, poi, dopo circa 10 secondi, ecco che sulla corda gravita anche il secondo corpo di 95 kgp. Poi iniziano a salire insieme. Come si vede, senza entrare in altri aspetti oramai chiari, la massima forza prodotta è di 265 kgp, valore non così lontano da quanto prodotto dalla salita di una sola persona di 95 kgp. Salire in due sulla stessa corda è uno dei tabù della progressione in grotta, ma tutto sommato non è così gravoso per la corda e gli attacchi. Interessante notare che alcuni picchi raggiungono valori più bassi di altri: in corrispondenza di questi l'azione di una persona ha generato una forza d'inerzia che si è sottratta alla forza d'inerzia generata dall'altra persona.

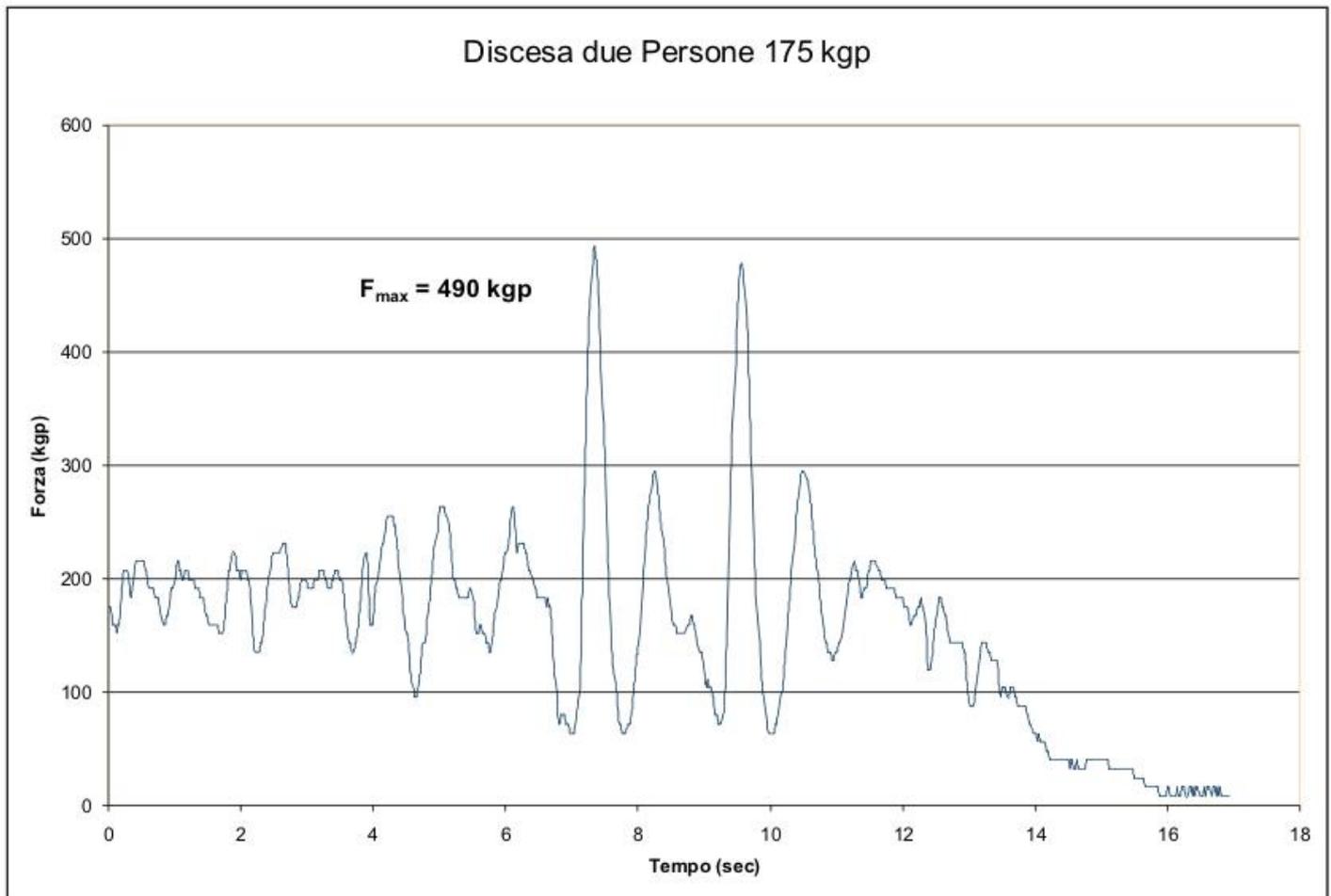
Discesa normale una persona 95 kgp



In discesa, sempre nella torre del CRASC di Costacciaro, una persona di 95 kgp che scende con criteri di tutta normalità, nei momenti di freno con il discensore può arrivare a "pesare" ben 330 kgp (valore ben più alto di quello prodotto dalla risalita contemporanea di due persone).



Se poi la persona di 95 kgp discende veloce, dando una brusca frenata dopo 6 m di "caduta", ecco che si può arrivare a ben 544 kgp (i picchi successivi sono solo l'effetto dei rimbalzi del corpo dopo la brusca frenata).



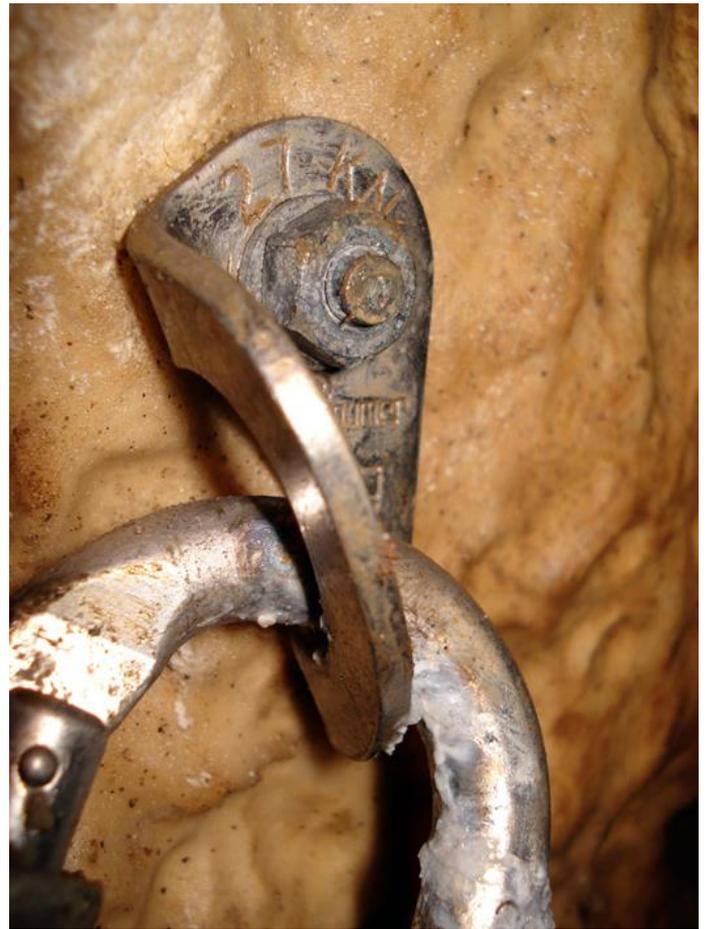
In un tipico caso di soccorso "persona a persona", dopo tutte le manovre di liberazione dell'ipotetico "ferito", si discende su un solo discensore con la persona soccorsa appesa al soccorritore. Con una discesa ovviamente cauta, anche con impercettibili frenate, si raggiungono i 490 kgp.

Usura dei materiali: il caso della Grotta del Chiocchio in Umbria (Spoleto)

Tenendo presente quanto detto nel [precedente paragrafo](#) sulle forze massime che si registrano nella normale progressione si valuti quanto qui di seguito riportato.

Durante il Corso Nazionale di Perfezionamento Tecnico della Scuola Nazionale di Speleologia del Club Alpino Italiano, svoltosi a Costacciaro dal 22 al 29 luglio 2007, e durante il Corso Nazionale Propedeutico per Istruttori di Speleologia della SNS CAI, tenuto a Costacciaro dal 28 luglio al 3 agosto 2010, si è avuto modo di osservare e prelevare nella Grotta del Chiocchio (Spoleto - Umbria) dei materiali - corde e moschettoni in lega - sicuramente molto usurati e corrosi. E' probabile che i materiali presenti nel 2010 fossero gli stessi dell'armo del 2007.

Qui di seguito alcune immagini di detto materiale. Visibilissimo sui moschettoni il deposito di alluminato, risultato dell'azione corrosiva prodotta dalle acque calcaree circolanti nella grotta.



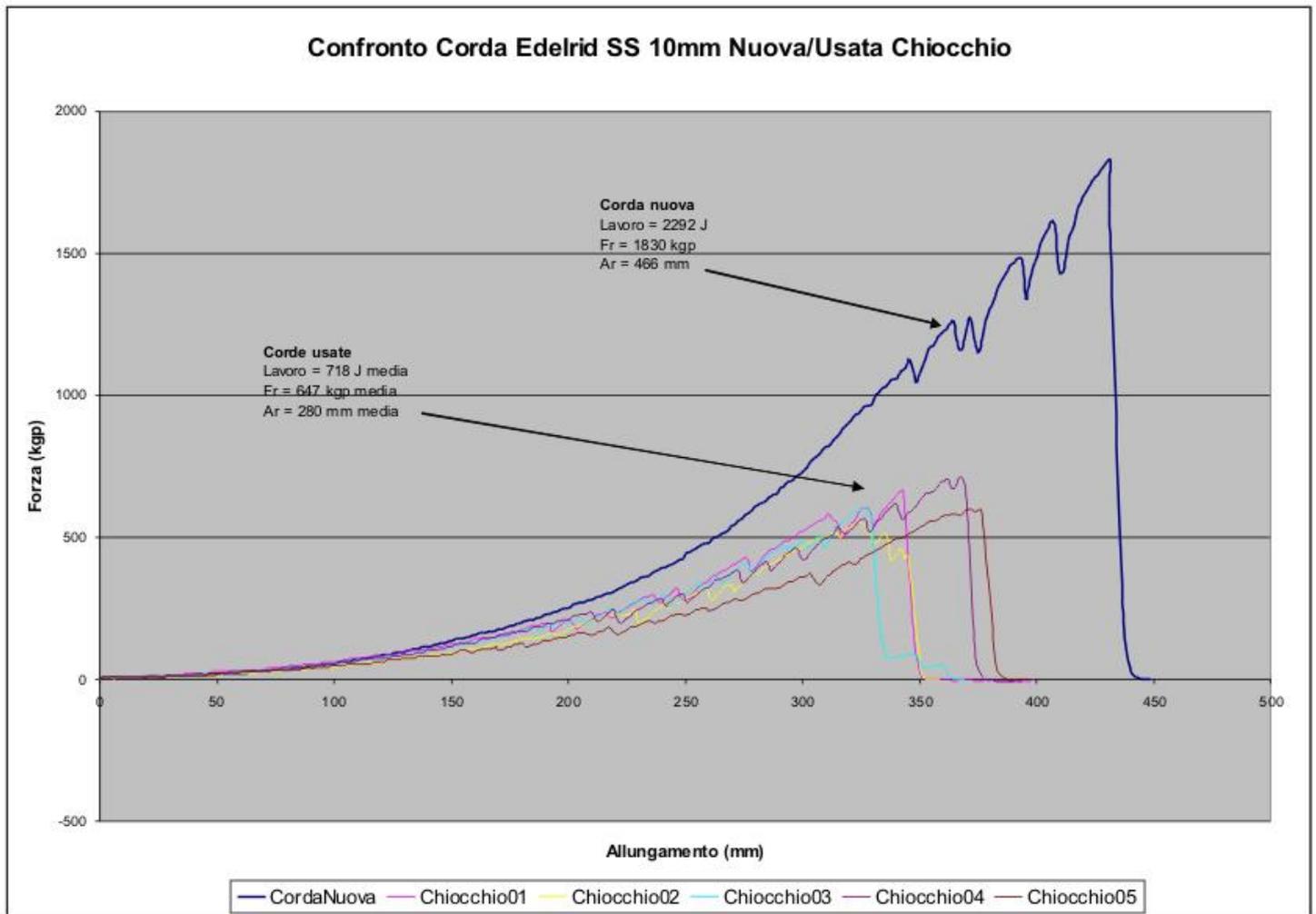
Su questo materiale sono stati fatti dei test a trazione quasi-statica per valutarne:

1. la resistenza alla rottura,
2. le modalità di cedimento,
3. la capacità di assorbire l'energia di una eventuale sollecitazione.

Quest'ultimo elemento di valutazione sta alla base di un nuovo e più efficace modo di analizzare le caratteristiche dei materiali speleo-alpinistici.

La corda Edelrid SS 10 mm nuova/usata Chiocchio (n. 6 campioni)

I campioni testati erano tutti di 0,5 m di lunghezza fuori tutto, quindi compresi i due nodi guida confezionati all'estremità (lunghezza gasse 0,06 m). La prova è consistita nel trazionare a forza crescente i campioni fino al loro cedimento. Si è registrato il carico di rottura, il lavoro svolto per giungere alla rottura e l'evolversi del grafico Forza = f(Allungamento). Ecco i risultati (non si dimentichi di ricordare che i due nodi all'estremità hanno la loro deformabilità e che quindi aggiungono alla deformabilità tipica di una corda senza nodi).



Nella tabella sottostante sono riportati in sintesi i dati ricavati dai test quasi-statici:

Tipo di corda	Condizione	Lunghezza campione (m)	Lavoro alla rottura (J)	Carico di rottura (kgp)	Allungamento alla rottura (m)	Tipo di rottura
Edelrid ss 10 mm Chiocchio 01	Usata	0,5	734	664	0,245	Nel nodo
Edelrid ss 10 mm Chiocchio 02	Usata	0,5	634	656	0,275	Nel nodo
Edelrid ss 10 mm	Usata	0,5	644	605	0,265	Nel nodo

Chiocchio 03						
Edelrid ss 10 mm Chiocchio 04	Usata	0,5	856	712	0,315	Nel nodo
Edelrid ss 10 mm Chiocchio 05	Usata	0,5	724	596	0,300	Fuori nodo
Edelrid SS 10 mm statica	Nuova	0,5	2292	1830	0,466	Nel nodo

Interessante rilevare che la corda nuova si distingue dalle usate non solo per la capacità di assorbire energia (tre volte superiore) ma anche per un carico di rottura tre volte più elevato.

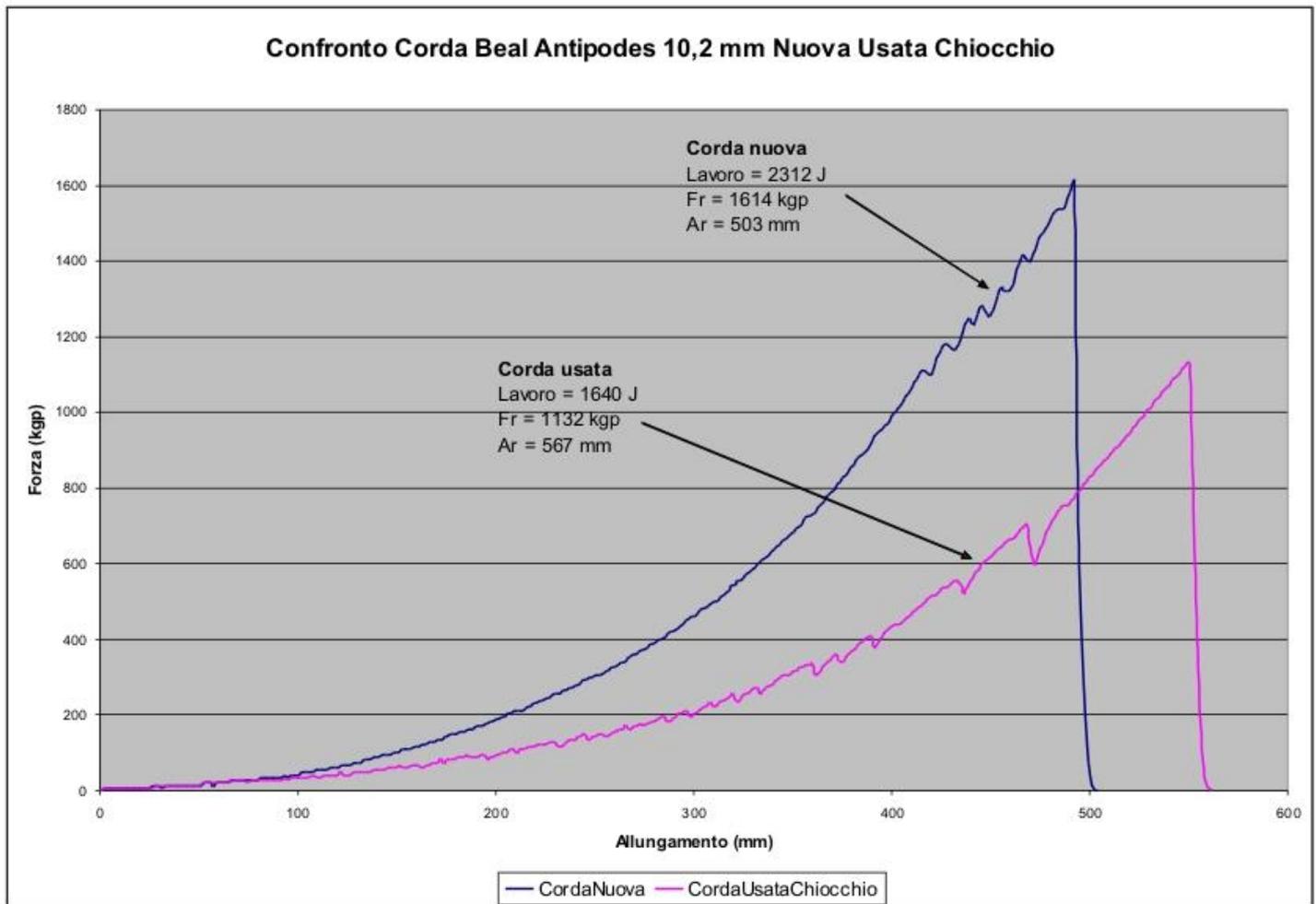
ATTENZIONE: a titolo di raffronto si annoti che la caduta di un corpo di 80 kgp produce energia per 785 J al metro (per ottenere l'energia totale si moltiplichi l'altezza di caduta h per 785 J).

Conclusioni:

1. la corda Edelrid del Chiocchio, che da nuova resiste fino a 1830 kgp ed assorbe 2292 J, è stata lasciata in grotta per diversi anni e su di essa sono discesi e saliti forse ben più di un centinaio di speleo; è talmente usurata ($Fr = 647$ kgp in media e 718 J/m in media) che in un caso ha ceduto addirittura fuori dai nodi (l'effetto nodo scompare con l'avanzare del decadimento);
2. può sopportare a mala pena la caduta di 80 kgp per un metro;
3. potrebbe rompersi anche a seguito di una brusca frenata con il discensore (si veda il grafico del paragrafo precedente relativo alla discesa veloce di una persona dal peso di 95 kgp);
4. è più che evidente quanto sia pericoloso abbandonare senza controllo materiali in grotta.

La corda Beal Antipodes 10,2 mm nuova/usata Chiocchio (n. 2 campioni)

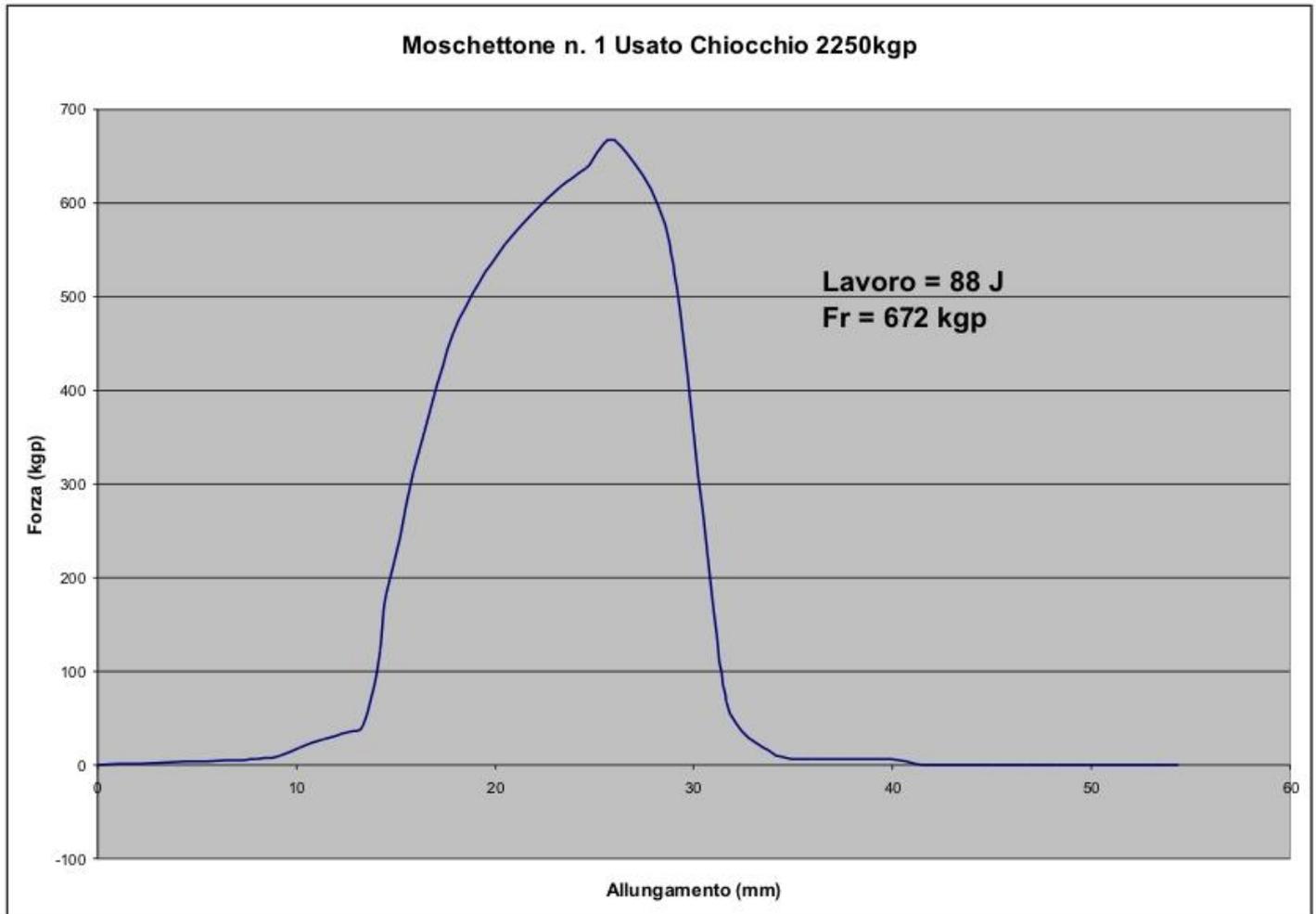
I campioni testati erano tutti di 0,5 m di lunghezza fuori tutto, quindi compresi i due nodi guida confezionati all'estremità (lunghezza gasse 0,06 m). La prova è consistita nel trazionare a forza crescente i campioni fino al loro cedimento. Si è registrato il carico di rottura, il lavoro svolto per giungere alla rottura e l'evolversi del grafico Forza = $f(\text{Allungamento})$. Ecco i risultati.



La corda usata Beal Antipodes prelevata dalla Grotta del Chiocchio non è nelle stesse condizioni della Edelrid: mantiene ancora un buon carico di rottura e una certa capacità di assorbire energia. Evidentemente è rimasta in grotta per un tempo decisamente inferiore rispetto all'Edelrid. Il fatto che la corda usata si sia deformata di più della nuova è la conseguenza della recisione, con l'uso, di alcuni fili elementari di Nylon: la corda di fatto ha meno materiale che si oppone all'allungamento e quindi è diventata più deformabile.

I moschettoni in lega (n. 4 campioni)

L'unico moschettone prelevato in occasione del corso del 2010 ha dato i seguenti risultati:



Dei moschettoni in lega di alluminio prelevati in occasione del corso del 2007 abbiamo solo i carichi di rottura:

Tipo di campione	Condizione	Carico di rottura (kgp)	Lavoro alla rottura (J)	Note
Moschettone n. 1	Usato	672	88	Prelevato nel 2010
Moschettone n. 2	Usato	487		Prelevato nel 2007
Moschettone n. 3	Usato	578		Prelevato nel 2007
Moschettone n. 4	Usato	571		Prelevato nel 2007

Conclusioni:

1. il carico di rottura dei moschettoni esaminati è estremamente basso per effetto della corrosione;
2. anche in questo caso una brusca frenata con il discensore potrebbe portarli alla rottura;
3. lasciare moschettoni in lega d'alluminio in grotta è estremamente grave e deve essere assolutamente evitato.

Come nota al margine, ma di grande significato concettuale, come tutti gli elementi rigidi i moschettoni, anche da nuovi e non corrosi, non hanno alcuna capacità di assorbire energia.

Altri riferimenti sull'argomento nelle pagine dedicate alla [Corrosione dei moschettoni in lega d'alluminio](#).

Fragilità e affidabilità delle attrezzature in vendita



Sempre tenendo presente quanto detto nel [primo paragrafo](#), si valuti quanto qui di seguito riportato.

Nel laboratorio del CENS di Costacciaro il 16/12/2007, durante il Corso Nazionale di Aggiornamento e Specializzazione della SNS CAI (presenti 11 partecipanti) sono stati sottoposti a trazione quasi-statica fino a rottura n. 3 maillon semicircolari della Petzl "Omni Lock". In due esemplari i carichi di rottura sono risultati pressoché uguali a quelli dichiarati dal costruttore. Ma uno di questi esemplari ha ceduto a 463 kgp, anziché a 20 kN come dichiarato dal costruttore (vedi immagine accanto).

Questo dato sperimentale pone problemi di una certa gravità.

Il primo sta nel fatto che il costruttore dichiara che gli attrezzi sono "testati individualmente" e ci si domanda allora come questo esemplare possa essere sfuggito al controllo. Non riteniamo che un valore così diverso (463 kgp) da quello dichiarato (circa 2000kgp) possa essere interpretato come il frutto di una errata sperimentazione o taratura dello strumento di misura.

In ogni modo l'attrezzo, a nostro avviso, è il prodotto di errate valutazioni progettuali, che hanno privilegiato la rapidità di apertura rispetto alla resistenza, alla affidabilità e alla sicurezza. E' errato porre un sistema di chiusura così debole, il dito apribile, in prossimità dalla parte B della struttura (vedi immagine sottostante) che sopporta le maggiori forze. E' sbagliato sostituire il cursore a vite, come nei maillon tradizionale, con un aggancio ad incasso, tanto più sconsigliabile anche per il fatto che l'attrezzo è in lega leggera e modellato in pressofusione. E' sconsigliabile, e lo si sapeva da decenni, usare la lega leggera per i maillon di chiusura dell'imbracatura.

Occorre fare molta attenzione perché il maillon ovoide è lo strumento chiave dell'imbracatura, che la chiude e la rende agganciabile ai vari attrezzi di progressione. Questo attrezzo non può avere punti deboli e la sua affidabilità deve essere totale. Tanto più che il maillon di chiusura dell'imbracatura subisce le più disparate sollecitazioni, in tutte le direzioni, e non è facilmente controllabile a vista durante la progressione.

Un maillon d'acciaio come quello riportato nella figura sottostante, con chiusura a vite e filettatura ricavata su un diametro maggiorato del tondino, è la soluzione migliore, più affidabile e sicura.



E' questo un ulteriore caso di fragilità di un possibile elemento della catena di sicurezza, tanto più potenzialmente pericoloso se lo confrontiamo con i valori di forza ottenuti durante una normale progressione.

Conclusioni

Quindi, in ultima analisi, la corrosione degli attrezzi in lega di alluminio, l'abbandono in grotta di corde per tempi troppo lunghi con conseguente forte deperimento delle stesse, l'errata progettazione, il mancato controllo del costruttore e la fragilità dell'attrezzo possono compromettere a tal punto la catena di sicurezza da romperla anche sotto il carico di una normale sollecitazione della progressione.