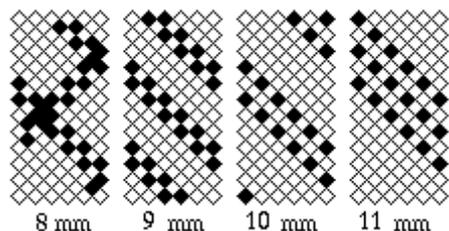
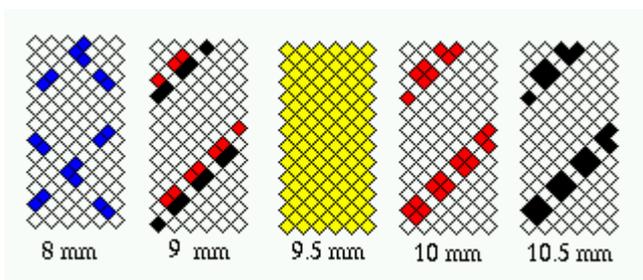


## 1.B.1 Corde



In grotta si usano corde “statiche” da 8, 9, e qualche volta anche 10 mm (di diametro) [29] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70] [71] . Differentemente dall'alpinismo per cui si usano corde dinamiche atte ad assorbire cadute con fattore di caduta 2 (v. dopo), in speleologia le cadute hanno fattore uno, dato che si procede verso il basso (scendendo i pozzi). Le corde portano sulla calza dei trefoli colorati, la cui disposizione e colore identifica il tipo della corda e dipende dal fabbricante. Per esempio le corde Edelrid si distinguono per diametro in base al disegno sulla calza (v. figura a destra; per le Beal vedi figura a sinistra):

- corde da 11 mm hanno tre righe spaziate
- corde da 10 mm hanno due righe spaziate
- corda da 9 mm hanno due righe vicine a formare una scacchiera
- corde da 8 mm hanno tre righe vicine a scacchiera

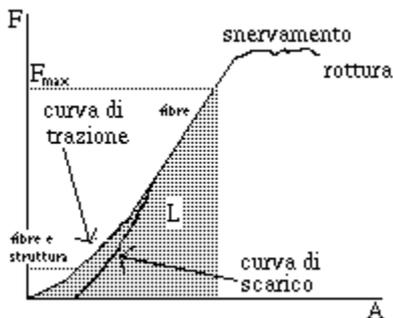


Le corde sono formate da una struttura interna, detta anima, formata da trefoli intrecciati in versi opposti (in modo da evitare la torsione della corda durante l'allungamento), contenuta entro una calza, detta anche camicia, che serve anche da protezione dell'anima. La calza ha uno spessore di circa 1-2 mm e contribuisce alla resistenza della corda per circa il 30%. Ogni trefolo ha una resistenza di circa 130 Kgp. Le corde sono fatte di poliamidi (nylon, perlon) e poliesteri (tergal, dacron, trevira). Altre fibre usate sono polipropilene e aramidi (kevlar). Il kevlar è molto resistente, ma anche poco elastico, perciò non va bene per le corde da speleologia. Il polipropilene è galleggiante ed assorbe molto poco l'acqua. Ha però minor resistenza del nylon. I poliamidi sono attaccati dagli acidi, i poliesteri dai composti basici.

Fibra	Densita`	Punto di fusione ( °C )	Resistenza (comparativa)	Elasticita` (comparativa)	Assorbimento d'acqua
Poliamidi	1.14	230	4	10	4.5%
Poliesteri	1.38	260	5	7	0.5%
Polipropilene	0.91	175	2	10	0.4%
Aramidi	1.44	500	10	2	6.0%

Principalmente si usa nylon 6.6 (oppure 6). Questo materiale fonde a 260°C (il nylon 6 a circa 215°C ed è quindi meno affidabile). Il punto di fusione è importante perché le corde spesso si rompono per surriscaldamento per attriti. Il nylon inizia a degenerare a temperature superiori a 90°C. Questo effetto è più marcato oltre i 120°C. La temperatura massima raggiungibile dal discensore durante una veloce discesa (60 cm/s) bruscamente frenata (su corda asciutta) arriva a 80-130°C. Il poliestere è attaccato tanto dagli acidi forti che da quelli deboli. Il nylon viene attaccato dagli acidi forti (per esempio, acido delle batterie, candeggianti, acido muriatico). Anche se è resistente a quelli deboli (saponi, ammorbidenti, oli, aceto, acetone, benzina, cherosene) [72], questi danneggiano gli additivi utilizzati per proteggere il nylon. Nel dubbio, meglio tener le corde lontane da acidi, oli, detersivi, e anche sostanze alimentari. Le corde devono essere provviste sulle estremità di etichette indicanti la lunghezza, l'anno di acquisto, e un codice per il registro delle corde (tenuto scrupolosamente dal magazzino). In tale registro vengono annotati i dati delle corde: tipo, produttore, data di acquisto, e la storia di utilizzo, in particolare arresti di cadute e altri danneggiamenti subiti. L'etichettatura deve essere posta su entrambe le estremità, e fissata con una guina termo restringente. Le caratteristiche di una corda sono

- elasticità;
- elasticità di rottura;
- capacità di assorbire cadute (con fattore di caduta 1 per le corde statiche, e FC=2 per le dinamiche);
- massima forza di frenaggio (deve essere inferiore a 12 KN);
- resistenza (carico di rottura);
- assorbimento di umidità;
- resistenza alla abrasione;
- usurabilità;
- flessibilità;
- peso al metro.



Le corde statiche hanno indice di **elasticità** minore di  $E = 0.05$  1/KN. L'elasticità descrive l'allungamento percentuale di una corda in funzione della tensione che le si applica; si misura in 1/kilonewton, poiché le forze si misurano in kilonewton. Una elasticità  $E=0.05$  1/KN denota una corda che subisce un allungamento del 4% quando ci si appende uno speleologo (che pesi 80 Kg), cioè circa un metro su un pozzo da venti. Le corde dinamiche hanno indice di elasticità circa doppio, perciò si allungano anche del doppio. In pratica le corde statiche hanno elasticità compresa fra 1.5 e 4%; le dinamiche fra 6 e 10%. Esistono anche corde statiche con limitatore di elasticità all'interno dell'anima, per le quali  $E=0.01$  1/KN. Queste corde sono comunque sicure perché in caso di caduta il limitatore di elasticità si rompe e la corda si comporta come una normale corda speleo statica. Le corde soggette a trazione si allungano assorbendo e dissipando energia (area tratteggiata in figura). Le corde assorbono energia (in modo reversibile) per elasticità. In prima approssimazione l'allungamento è proporzionale alla lunghezza della corda ed alla forza (peso) applicata:  $A = E L F$ . Questa relazione definisce il coefficiente di elasticità  $E$ .

In realtà nelle corde l'elasticità è di tre tipi: strutturale (della corda e dei trefoli), propria delle fibre di nylon, di compressione (nei nodi). Perciò la curva di F in funzione di A non è una retta ma ha una forma leggermente parabolica: inizialmente la corda risulta più elastica. In ogni caso l'energia assorbita elasticamente viene restituita quando viene tolta la trazione. L'elasticità di rottura è l'allungamento della corda alla rottura. Per le corde dinamiche è circa 50%, per le statiche è circa 25%. L'energia viene anche assorbita (irreversibilmente) per plasticità, cioè per deformazioni della corda: snervamento, rottura e scorrimento delle fibre, deformazione della struttura della corda, strizione dei nodi, e scorrimento della corda su un ancoraggio. Infine l'energia viene assorbita e dissipata per attriti che portano a riscaldare la corda. Gli attriti sono interni, tra fibre, trefoli, calza, ma anche causati da materiali intrusi (argilla e microcristalli), oppure esterni (con gli attrezzi, gli ancoraggi, e la roccia). Quindi la curva di scarico (che descrive come la corda restituisce l'energia) non coincide con quella di trazione. Questo è tanto più vero quanto più intensa è la forza applicata alla corda come nel caso di cadute. Dato che la corda deve essere in grado di sostenere cadute, più che di elasticità si dovrebbe parlare di deformabilità, cioè di quanto la corda è in grado di assorbire energia. Questa proprietà dipende dal materiale e dalla struttura della corda, oltre che da come essa viene utilizzata.

- Per piccole cadute (F fino a 400 Kgp) l'energia viene assorbita da deformazioni trasversali e dalla compressione dei nodi. La deformabilità è alta, ma solo il 15% dell'energia della caduta deve essere assorbita dalla corda.
- Oltre 400 Kgp e fino a F 1800 Kgp la corda "entra in azione": una larga frazione dell'energia (85%) viene assorbita e/o dissipata.
- Oltre questo limite si ha snervamento e rottura della corda.

Per le corde dinamiche i requisiti di omologazione richiedono la resistenza ad almeno cinque cadute con  $FC=2$ . Per le statiche non ci sono requisiti specifici, però le corde in commercio resistono ad almeno due cadute con  $FC=1$ . Altrettanto importante è la forza massima di frenaggio (detta anche forza di choc), cioè la forza massima che si esercita sullo speleologo (di peso medio 80 Kg) che cada con  $FC=1$ . Questa non deve eccedere 12 KN (cioè circa 15 volte il peso della persona), altrimenti si rischiano danneggiamenti alla struttura corporea. La forza di frenaggio viene misurata con il test di caduta. Si lascia cadere un peso di 80 Kg con  $FC=1$  e si misura la tensione sulla corda con un dinamometro. La rottura di una corda in assenza di nodi avviene per cedimento (per snervamento) di uno o più fili elementari. Questo innesca una reazione a catena dato che la trazione viene ad essere sopportata da meno fili. Quindi la corda "salta". Fenomeni di fusione delle fibre sono una conseguenza (causati dalle alte velocità di scorrimento) in tale processo, non una causa. Il cedimento iniziale può essere indotto da imperfezioni strutturali, o da materiale intruso. Comunque avviene a carichi prossimi a quello di rottura. Se la corda ha un nodo, essa si rompe in generale all'inizio del nodo. Infatti qui si ha maggior attrito causato da micro scorrimenti della corda compressa (dal carico) fra le spire del nodo. Le fibre di trefoli e calza fondono per il calore sviluppato. Questo dipende dalla velocità di scorrimento (quindi dalla forza di arresto), dal coefficiente di attrito, dalla pressione sull'area interessata, e dalla conducibilità termica (che aiuta dissipando calore). La staticità cioè la inelasticità delle corde è importante per aumentare l'efficacia della progressione in risalita, oltre che a ridurre quel noioso movimento su-e-giù! Inoltre le corde statiche sopportano meglio (cioè si rovinano meno) l'azione degli attrezzi da discesa e risalita. Durante la progressione la corda riceve sollecitazioni dell'ordine di 50-100 Kgp. In risalita si arriva fino a punte massime di 120-200 Kgp. In discesa i valori massimi sono di 200-400 Kgp. La flessibilità di una corda è la proprietà di piegarsi. Viene misurata col test del nodo. Si esegue un nodo semplice sulla corda. Quindi si appende un peso di 10 Kg per un minuto, poi gradualmente si riduce il peso. Quando si arriva ad un kilogrammo si misura il diametro del nodo. La corda è abbastanza flessibile se questo è inferiore al diametro della corda stessa. La bontà di una corda si misura dunque dalla capacità di assorbire energia senza subire deformazioni gravi e permanenti. Si misura anche da come essa mantiene questa capacità nel tempo e con l'uso. Le corde si accorciano con i lavaggi e le asciugature ripetute (circa 4%). Le corde si riducono in lunghezza trazionandole durante il normale uso speleologico. L'accorciamento

è pari a circa 13% (11% nel primo anno). Assorbimento d'acqua. Una corda assorbe acqua. L'assorbimento d'acqua viene valutato mettendo un pezzo di corda in una bacinella contenente acqua e misurando il tempo che impiega ad andare a fondo. L'assorbimento fisico è reversibile: l'acqua si posiziona negli spazi fra le fibre e si fissa con legami fisici superficiali (coesione) sui filamenti. È quindi proporzionale al volume della corda (sezione per lunghezza) e dipende dal tipo di corda. Questo assorbimento non pregiudica le proprietà meccaniche della corda, ed è utile per raffreddare la corda durante la discesa col discensore. Una corda nuova assorbe acqua a causa della affinità tra nylon e acqua (si formano legami idrogeno fra le due molecole). Questo assorbimento d'acqua è irreversibile e provoca un accorciamento del 2 - 5%. Perciò le corde nuove, prima di essere utilizzate in grotta dovrebbero essere "preparate" dal magazziniere, per evitare che si accorcino notevolmente dopo le prime uscite. Si mette a bagno la corda per una notte nell'acqua. Il giorno dopo si trazione la corda: basta essere in due, con una carrucola. Mentre uno sale verso la carrucola con gli attrezzi da risalita, l'altro gli dà corda col discensore. Tutto ciò ha il duplice vantaggio di mettere la corda sotto una trazione pari al peso dello speleo che sale, a di far fare a questi un po' di esercizio, che non può fargli che bene! La preparazione aiuta a stringere la calza, evita lo slittamento della calza sulla anima, e restringe le maglie riducendo l'infiltrazione di materiali intrusi (argilla). L'acqua (e l'umidità) che entra all'interno dei filamenti e si posiziona nella parte amorfa della struttura polimerica della macromolecola ne condiziona le proprietà e indebolisce la corda. Abbassa la temperatura di transizione vetrosa (detta Glass Temperature), in corrispondenza della quale si ha transizione della parte amorfa da stato rigido a comportamento plastico, quindi una maggiore deformabilità della catena polimerica. La resistenza alla rottura è ridotta a causa dell'acqua assorbita all'interno delle molecole del 10% circa, e la capacità di assorbire cadute viene ridotta fino al 50%. La permanenza prolungata (parecchi anni) in grotta può ridurre la resistenza tanto che la corda si rompe con l'impiego normale. Il carico di rottura delle corde diminuisce nei primi due o tre anni (circa 20-25% nel primo anno), poi si stabilizza. Questa diminuzione non è dovuta tanto all'invecchiamento delle fibre (depolimerizzazione del nylon, che comporta una riduzione del 10% all'anno) quanto piuttosto alla usura, che provoca la perdita di coesione fra esse. Anche per le fettucce si ha una analoga riduzione del carico di rottura. Aumenta la plasticità della corda, per cui aumenta apparentemente anche il coefficiente di deformabilità, cioè la capacità di arrestare una caduta. Questo è però un effetto relativo, perché il carico di rottura diminuisce. In caso di caduta, la corda assorbe energia per plasticità, più che per elasticità e attriti, quindi ogni arresto di caduta rende la corda sempre più "rigida". Approssimativamente dopo n cadute l'elasticità risulta  $E(n) = E_0 e^{-h n}$ ; all'incirca si dimezza ad ogni caduta. In ogni caso, non si deve mai usare una corda che abbia sostenuto anche un solo arresto di caduta. A seguito di questo una corda può riportare lesioni interne non visibili pertanto non può più essere utilizzata per la progressione verticale (pozzi, traversi, etc.). Usura. Le cause di usura delle corde sono:

- la flessione e torsione dovute al discensore (o peggio al mezzo barcaio);
- la compressione dei dentini dei bloccanti;
- i microcristalli intrusi (che aumentano l'attrito e facilitano le lacerazioni interne);
- il riscaldamento causato dai discensori (attrito esterno);
- l'abrasione contro la roccia, ma anche con ancoraggi di piccolo raggio;
- lo snervamento delle fibre, causato dalla progressione sia in discesa che in risalita;
- l'invecchiamento "naturale" (depolimerizzazione) causato dai raggi ultravioletti e dagli agenti atmosferici (acidi).

Lo stiramento causato dalle puleggie del discensore ha un effetto doppio rispetto alla compressione dei cricchetti degli attrezzi da risalita. Infatti in discesa la corda deve assorbire e dissipare l'energia (potenziale) ceduta dallo speleologo che scende. In risalita, questa energia potenziale è fornita dallo speleologo stesso che "pedala", e la corda viene coinvolta in uno scambio energetico molto minore. Con un uso normale, una corda si usura, ma mantiene le sue capacità di arrestare una caduta, quindi fornisce l'adeguata sicurezza. Questa viene meno se l'armo non è ben fatto e la corda sfrega contro la roccia. L'abrasione dovuta allo sfregamento contro la roccia

indotto dal movimento durante discese e risalite e` il vero distruttore delle corde da speleologia. Nell'abrasione delle corde sulla roccia intervengono molti fattori:

- asperita` della roccia (microrugosita`);
- superficie di appoggio (lame);
- forza di pressione sulla roccia;
- ampiezza degli scorrimenti della corda.

Da tener presente che le microlesioni nella calza diventano discontinuita` che tendono ad accrescersi, cioe punti di preferenziale danneggiamento: una volta iniziata la lesione questa procede sempre piu` in fretta. La resistenza alla abrasione si misura col test PLF. Si fa passare la corda su uno spigolo vivo a 90° di roccia e si appende un peso. L'altro estremo e` collegato ad un disco che gira ed impone un movimento alternato alla corda. Si misura il numero di va e vieni necessari per la rottura. L'acqua puo` arrivare a spezzare una corda, sbattendola ripetutamente contro la roccia. Questo e` piu` probabile vicino ai punti di attacco, dove risulta sempre lo stesso punto della corda a sbattere. Anche lo sfregamento sugli ancoraggi puo` arrivare a rovinare una corda. Questo pero` introduce un discorso a parte, sugli armi permanenti e sulla loro manutenzione. Infine bisogna evitare inutili sollecitazioni alle corde: fare dunque attenzione a non calpestarle e a non colpirle con sassi. L'invecchiamento naturale ha un effetto ridotto rispetto alle cause d'usura del normale uso. Una corda puo` essere preservata "integrata" se mantenuta in luogo fresco asciutto e buio [73]. In ogni caso la vita media del nylon e` di circa dieci anni, dopo di che` le fibre decadono abbastanza velocemente. Una corda piu` vecchia e` inaffidabile. Le corde semi-statiche fabbricate prima del 1997 hanno un filo colorato all'interno dell'anima indicante l'anno di fabbricazione, secondo la tabella seguente (gli stessi colori sono usati anche per le corde dinamiche, e la tabella contiene anche quelli per gli anni successivi). Dal 1998 in poi le corde semi-statiche hanno l'anno di fabbricazione impresso su un nastro posizionato in mezzo all'anima.

<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>
arancio	viola	rosso	verde	blue	nero	giallo	rosa
<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>
viola	rosso	blue	arancio	verde	nero	blue	viola
<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
grigio	rosa	nero	marrone	rosso	arancio	giallo	verde
<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>				
blue	viola	grigio	rosa				

La pulizia (lavaggio con tanta acqua e spazzola morbida) e una buona manutenzione sono necessarie, per controllarne lo stato di affidabilita` prima di portarle in grotta. Il lavaggio accurato serve a togliere i micricristalli di argilla dalla calza e dall'interno della corda. Evitare assolutamente l'utilizzo di detersivi (e ammorbidenti) contenenti cloro; nel dubbio meglio non usare detersivi. Il carico di rottura di una corda, cioe` la resistenza, dipende principalmente dal tipo di fibre di cui e` fatta, e dal diametro. Come si vede dalla tabella riportata sotto esso e` abbastanza alto (>18 KN) pero` bisogna tener presente che si riduce nel punto in cui la corda forma il nodo con cui viene attaccata all'armo. Questa diminuzione e` causata dalle spire del nodo che stringono la corda e la bloccano. In genere questa riduzione e` di circa 30%, ma puo` arrivare anche al 50%. Questo "effetto nodo" ha minor incidenza sulle corde usate, ma cio` e` solo un effetto relativo: le corde usate hanno un carico di rottura inferiore. Infatti sono piu` rigide e meno elastiche, quindi si forma minor pressione fra le spire del nodo. Inoltre le corde usate sono piu` plastiche e dissipano meno energia per attrito interno. Queste tabelle riportano i requisiti normativi per corde e fettucce. La rigidita` di una corda e` il rapporto fra il diametro della corda all'interno di un

nodo e il suo diametro normale. La corde di tipo "A" sono destinate ai lavori in altezza, alla speleologia e al soccorso. Quelle di tipo "B" sono piu` deboli e destinate solo alla discesa per soccorso.

	Corde Semi-statiche		Corde Dinamiche		
	Tipo A	Tipo B	Singola	Doppia	Twin
<b>Resistenza minima a rottura (trazione lenta) [KN]</b>	22	18			
<b>Resistenza [n. cadute] (dopo una caduta FC=0.3)</b>	5 FC=1 (100 Kg)	5 FC=1 (80 Kg)	5 FC=2 (80 Kg)	5 FC=2 (55 Kg)	12 FC=2 (80 Kg)
<b>Resistenza minima con nodo a otto (per tre minuti) [KN]</b>	15	12			
<b>Forza d'arresto massima [KN]</b>	6 FC=0.3 (100 Kg)	6 FC=0.3 (80 Kg)	12	8	12
<b>Allungamento massimo percentuale (passando la tensione da 50 a 150 Kg)</b>	5	5	8 (1 capo)	10 (1 capo)	8 (2 capi)
<b>Scivolamento massimo calza [mm]</b>	20 + 10 Diametro	15	40	40	40
<b>Percentuale di massa della guaina</b>	30 - 50	30 - 50	<50	<50	<50
<b>Rigidita`</b>	<1.2	<1.2	<1.1	<1.1	<1.1
<b>Marcaggio</b>	interno	interno	esterno	esterno	esterno
	<b>Cordicelle</b>	<b>Fettucce</b>			
<b>Diametro [mm]</b>	4 5 6 7 8				
<b>Resistenza [KN]</b>	3.2 5.0 7.2 9.8 12.8 22				

La seguente tabella riporta valori indicativi dei carichi di rottura e di altri dati di alcuni tipi di corde uaste in speleologia. Per completezza includiamo anche i dati sulle fettucce e alcune corde dinamiche (da usare per la longe). Ricordiamo che i dati si riferiscono al carico di rottura statico. In condizioni dinamiche il carico di rottura cresce con la velocita` di applicazione dello sforzo (vale circa 1.2-1.3 volte il carico statico). Per le corde dinamiche si usa la forza di arresto che e` la forza trasmessa agli altri elementi dell'ancoraggio (nodo, moschettone, etc.) ed alla persona in caso di caduta con fattore 2. Dalla tabella si possono ricavare

- la forza di arresto massima (forza di choc) in funzione del fattore di caduta  $F_m = (2 P F_c / E)^{1/2}$   
Il limite massimo UIAA della forza di arresto massima e` 1200 Kg.
- la capacita` di assorbimento di energia per unita` di lunghezza (in J/m)  $E_m / L = \frac{1}{2} E F_m^2$
- il fattore di caduta massimo ammissibile (assumendo che la forza di arresto massima ammissibile sia circa N volte il peso)  $F_{camm} = N^2 E P / 2$  [Esempio: N=5 E=0.05/KN P=0.8KN danno FC.max=1.]

Corda	Carico di rottura (Kg) Forza d'arresto	Resistenza con nodi a otto (Kg)	Allungamento perc. (con 100 Kg)	Peso (gr/m) asciutto/bagnato
Beal 8 mm	1800	N.A.	4.2%	41
Ederlid 9 mm	2410	1600	4.5%	51
Beal 9 mm	1900	1350	2.4%	51

Expe 9 mm	2490	1600	3.2%	53
Expe 9.9 mm con limitatore	2400		0.7%	60
Ederlid 10 mm	2830	2000	4.0%	65 / 74
Beal 10 mm	2400	1700	3.0%	62 / 90
Expe 10 mm	2750	1600	2.0%	68
Mammut 10 mm	3000	2000	1.6%	67 / 90
Dinamica 8 mm			12%	39
Dinamica 9 mm	490 (con 55 Kg) [<800 con 55 Kg]		10%	49
Dinamica 10 mm	680 (con 80 Kg) [<1200 con 80 Kg]		9.4%	62
Fettuccia 20 mm nastro	1000			
Fettuccia 20 mm tubolare	1100	950		
Fettuccia 26 mm nastro o tubolare	1500	1000		

### **1.B.2 Fettucce**

Le fettucce, al contrario delle corde, non hanno una anima portante protetta da una calza esterna, ma solo la struttura esterna, perciò sono più facilmente soggette a lesioni per usura. Le fettucce devono avere dei fili di colore diverso indicanti il grado di tenuta: 5 KN per ogni filo. Usare solo fettucce con almeno tre fili (quindi con resistenza superiore a 15 KN). Senza nodi le fettucce si rompono per snervamento delle fibre. Anche per le fettucce la resistenza sul nodo è ridotta di circa il 30% rispetto a quella nominale. Una fettuccia doppia su moschettone ha una resistenza pari al 140% del valore nominale. Su un anello (da 6 mm) la resistenza è circa uguale al valore nominale. Su una placca (4 mm) è ridotta all'80%. In queste tre situazioni si ha fusione delle fibre per attriti sugli ancoraggi, dovuta ad una concentrazione degli sforzi (e quindi attriti maggiori) per le pieghe. Ne risulta che le longe di fettuccia singola con nodi non sono adeguate. Tuttalpiù usare un anello di fettuccia.

marco corvi - Thu Sep 16 15:41:55 2004

Tratto dal sito:

<http://www.openspeleo.org>