

## RESISTENZA E ASSORBIMENTO DI ENERGIA DELLE LONGE E TRILONGE IN CORDA IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE

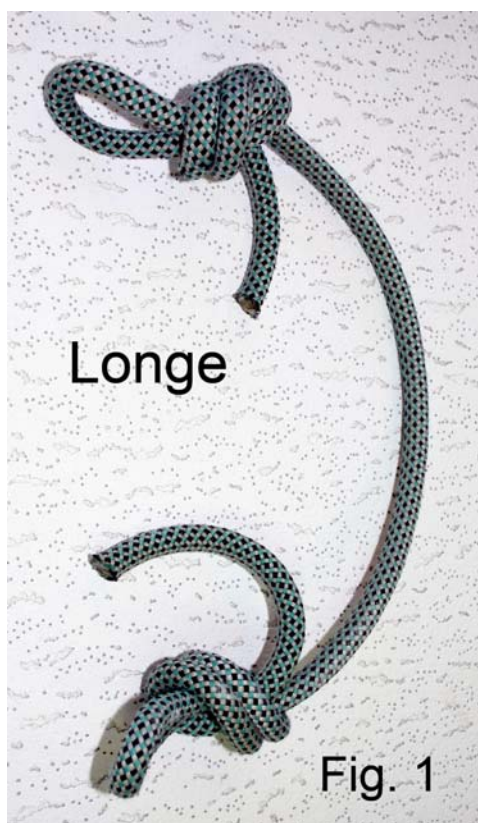
SALVATORI FRANCESCO<sup>1</sup>, MENICHETTI MARCO<sup>1</sup>, CELESTI SERGIO<sup>1</sup>, PODERINI LUCA<sup>1</sup>, BOCCHIO DOMENICO<sup>1</sup>

**Riassunto** – Sono stati eseguiti test con sollecitazioni quasi-statiche e con velocità di deformazione crescente su longe e trilonge con corda statica e dinamica e su longe confezionate in fettuccia. Sono stati ottenuti dati sulla resistenza alla rottura e sulla capacità di assorbire energia in funzione della variazione della velocità di deformazione. E' stato possibile valutare le differenze di comportamento delle corde statiche e delle corde dinamiche.

Parole chiave: longe, trilonge, longe confezionate, carichi di rottura, assorbimento energia, velocità di deformazione debutto.

**Abstract** - Tests were performed with quasi-static stress and strain rate increasing on the lanyard and trilonge with static and dynamic rope lanyard and wrapped in tape. Data were obtained on the tensile strength and the ability to absorb energy in the variation of strain rate. It 'was possible to evaluate the differences in the behavior of dynamic ropes and static ropes.

Keywords: longe, trilonge, longe wrapped, tensile strength, energy absorption, deformation rate.



Nella progressione speleologica e canyoning la longe (termine francese per definire una prolunga dell'imbracatura lunga qualche decina di centimetri) ha un ruolo fondamentale, del quale non si può prescindere (Marbach G., Rocourt J. L., 1980). Da quando sono stati utilizzati discensori e bloccanti per la progressione in grotta (con "sola corda" ma anche con scale) la longe ha avuto molte diverse forme, dal cavo d'acciaio, alla catena, alla fettuccia protetta con anelli, alla corda annodata con due gasse all'estremità, alla corda confezionata con nodi all'estremità uno dei quali con modifiche tali da creare un mezzo dissipatore di energia, a fettucce confezionate con cuciture semplici e bifide.

**Longe e trilonge di corda nuova statica e dinamica: valutazioni e confronti in condizioni di trazione quasi-statica** – Per questi test a trazione lenta ( $V_0 = 0,006$  m/s) abbiamo utilizzato una corda speleo statica Beal Antipodes 10,5 mm e una corda dinamica per arrampicata sportiva Millet Cobalt 10 mm. Tanto le longe (fig. 1) come le trilonge (fig. 2) hanno una lunghezza fuori tutto di 40 cm. All'estremità delle longe sono stati confezionati dei nodi delle guide (nella trilonge uno dei due nodi guida è stato modificato per ottenere il sistema di dissipazione

dell'energia). Per le longe i risultati sono riportati nel grafico di fig. 3 e sono stati ottenuti portando alla rottura i campioni.

<sup>1</sup> Centro Ricerche sulle Attrezzature Speleo-alpinistiche e Canyoning - CENS Loc Calcinaro 7/A 06021 COSTACCIARO PG; Gruppo Lavoro Materiali della Scuola Nazionale di Speleologia del C.A.I.

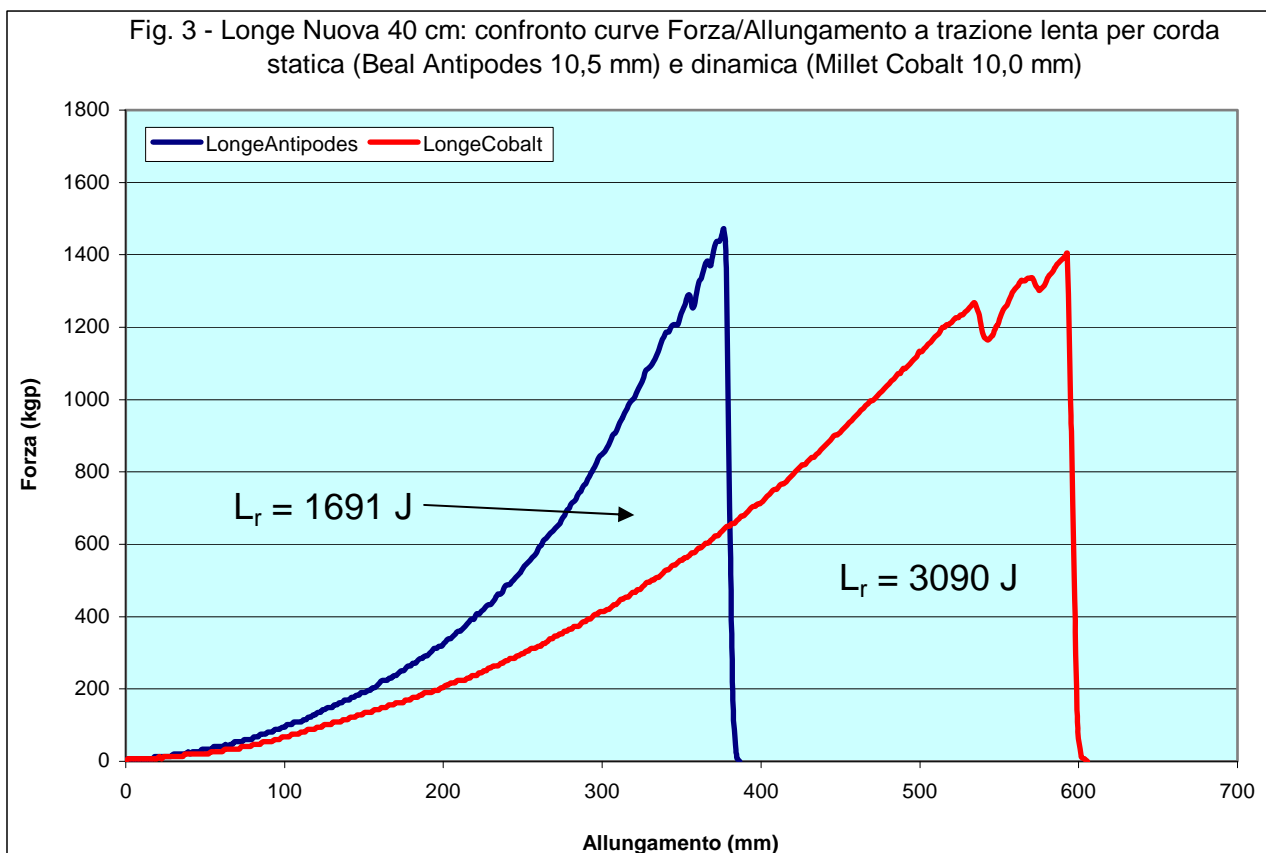


Si possono fare le seguenti osservazioni:

1. il cedimento delle corde è istantaneo e avviene lungo la stessa sezione trasversale all'uscita di uno dei nodi;
2. pertanto la forza di rottura si manifesta in coincidenza con l'allungamento massimo (sono trascurabili gli impercettibili allungamenti successivi alla rottura della corda in quanto propri di una minima inerzia strumentale);
3. in entrambi i casi la forza aumenta con l'aumentare dell'allungamento, più marcatamente nella corda statica, fino a raggiungere il carico di rottura  $F_r$ ;
4. i carichi di rottura  $F_r$  sono pressoché uguali;
5. la corda statica, proprio perché la forza aumenta di più a parità di allungamenti, ha

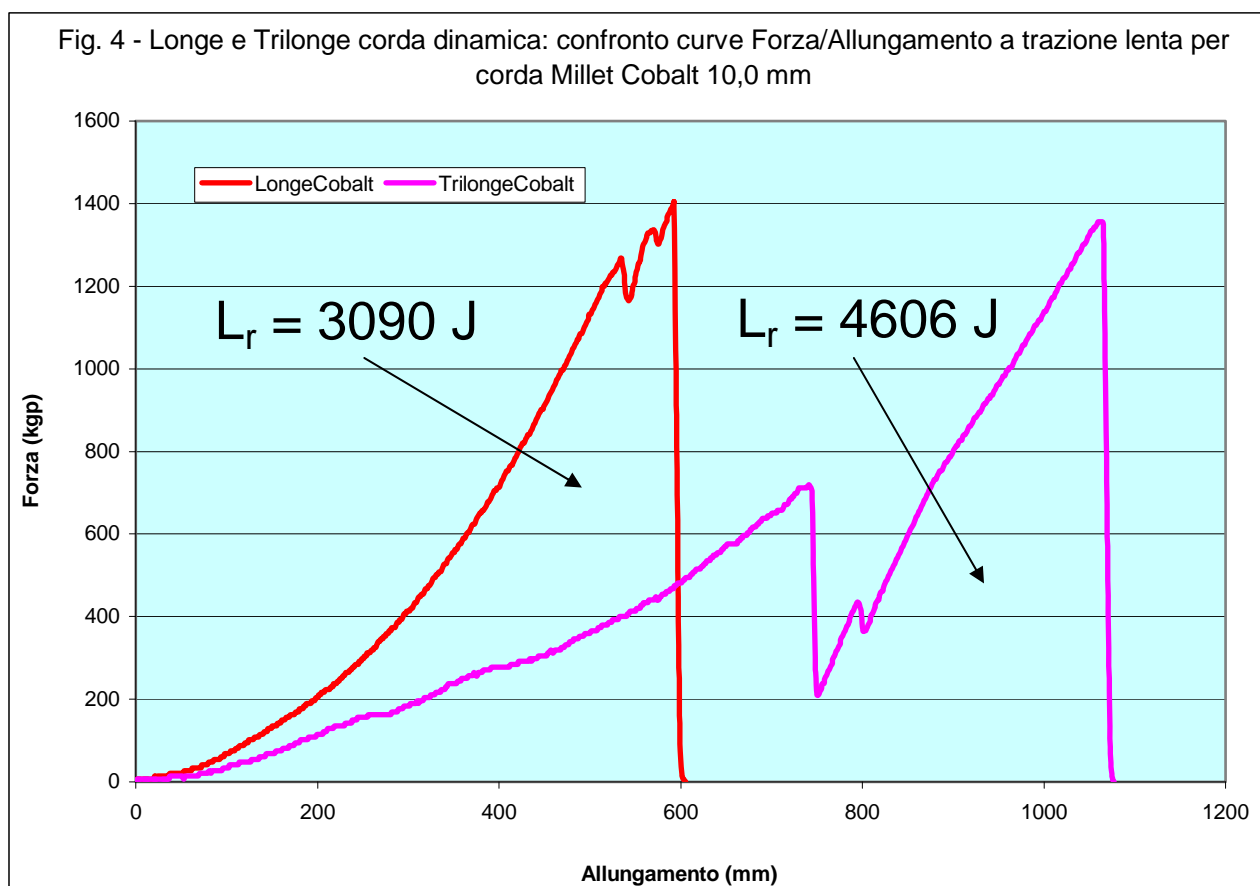
un Modulo di Rigidità  $R$  più elevato;

6. alla rottura, nella corda dinamica l'allungamento è maggiore di un terzo rispetto a quello della corda statica;
7. le aree sottese alle curve, e quindi il lavoro  $L_r$  che è necessario produrre per arrivare alla rottura, sono di entità molto diverse: nella statica è di 1691 J mentre nella dinamica è di 3090 J (quasi il doppio).



E' dunque evidente che la longe con corda dinamica è in grado di assorbire quasi il doppio dell'energia di una longe con corda statica. Questo significa, dato che la caduta di un corpo di 80 kgp per 1m di altezza sprigiona 785 J, che la longe di corda statica è in grado di assorbire da sola

una caduta di 2,15 m prima di rompersi, mentre quella dinamica può neutralizzare una caduta di ben 3,94 m. Nel caso di equivalenti corde usate, sempre in condizione di trazione quasi-statica, questi valori debbono essere diminuiti di circa il 10 %. Il dato è dunque estremamente positivo per la sicurezza della progressione, ma occorre verificare quanto questi risultati possono essere modificati con velocità di deformazioni più elevate, come appunto accade nelle sollecitazioni dinamiche che in genere si producono in grotta e in canyon (analizzeremo in seguito questi aspetti “dinamici”). Ora passiamo al confronto fra longe e trilonge, esaminando i test relativi alla corda dinamica Millet Cobalt (fig. 4).



E' anche in questo caso evidente che la trilonge, rispetto ad una longe confezionata con la stessa corda dinamica, aumenta ancora la capacità di assorbimento. Addirittura una trilonge potrebbe assorbire l'energia propria della caduta di un corpo di 80 kgp per un'altezza di 5, 87 m. Questi dati, molto confortanti per la sicurezza della progressione speleo-canyoning, debbono tuttavia essere valutati in relazione ai risultati di test eseguiti con velocità di deformazione più elevate, valutazione che qui di seguito viene esposta.

**Longe e trilonge di corda nuova statica e dinamica: valutazioni e confronti in condizioni di trazione veloce** – I campioni di fig. 1 e fig. 2 sono stati sottoposti a delle sollecitazioni con velocità di deformazione crescente nella Torre CRASC (Salvatori et al., 2011). Nel grafico di fig. 5 sono contenute le curve Forza/Allungamento in funzione della  $V_d$  per la longe di corda nuova Beal Antipodes 10,5 mm. Con l'aumentare della velocità di deformazione l'attrezzo aumenta dapprima la sua capacità a deformarsi, diventano di fatto più elastico (con Modulo di Rigidità R minore) e maggiormente capace di assorbire energia, per poi divenire via via più rigido (R che aumenta) e con minor predisposizione a neutralizzare il lavoro prodotto da una caduta di un peso. Da tenere presente che questa diminuzione della capacità di assorbire energia è anche legata al fatto che aumentando la velocità di deformazione il carico di rottura della longe diminuisce per effetto nodo,

effetto sempre più marcato a velocità di deformazione elevate. Nel caso dei due test a maggiore velocità di deformazione la longe si è rotta all'uscita delle spire del nodo.

Fig. 5 - Longe Beal Antipodes 10,5 mm Nuova: curve Forza/Allungamento - Velocità di deformazione

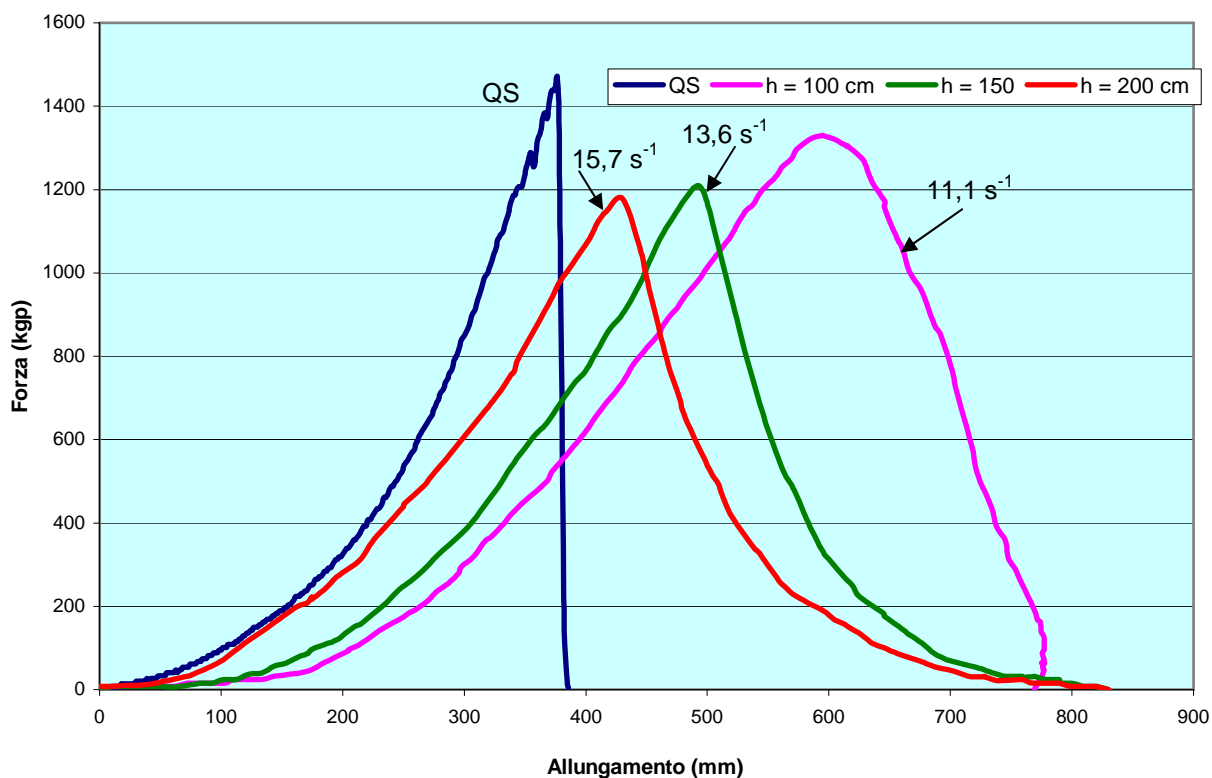
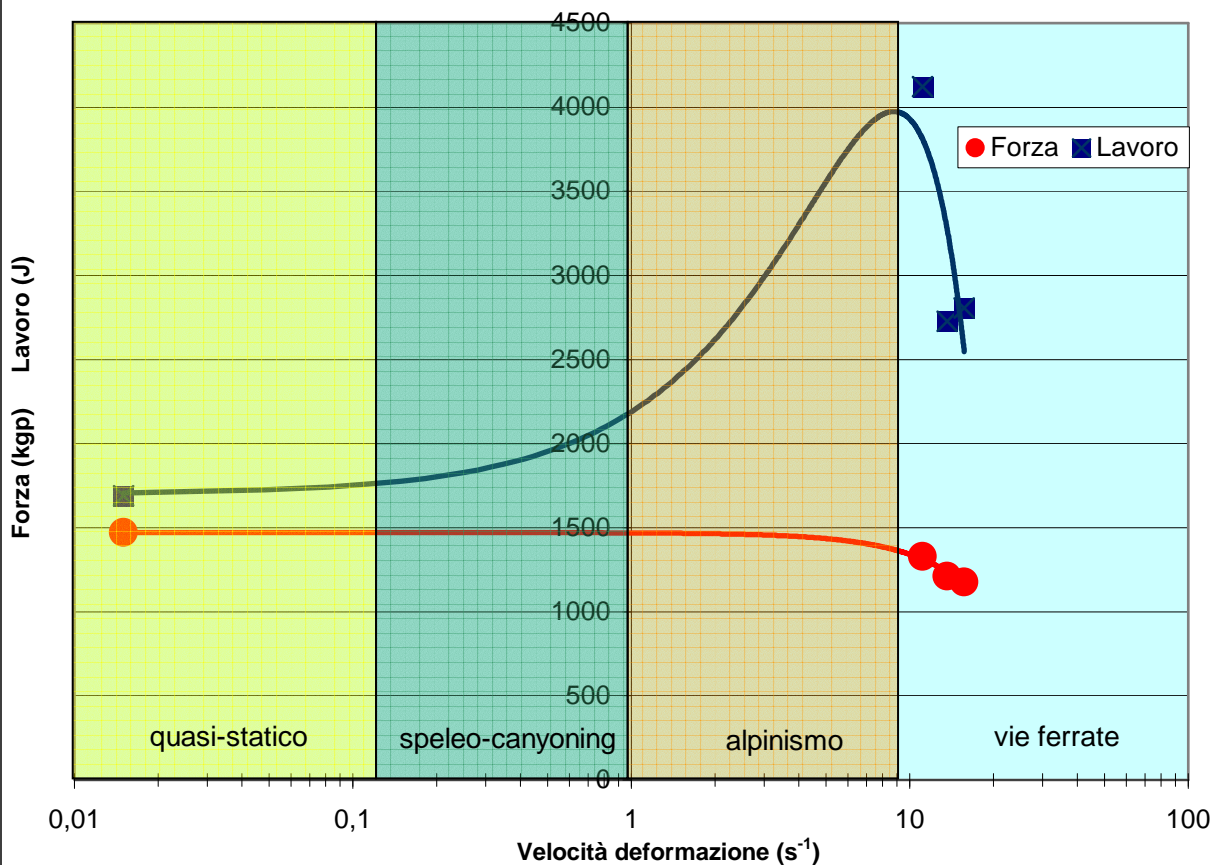
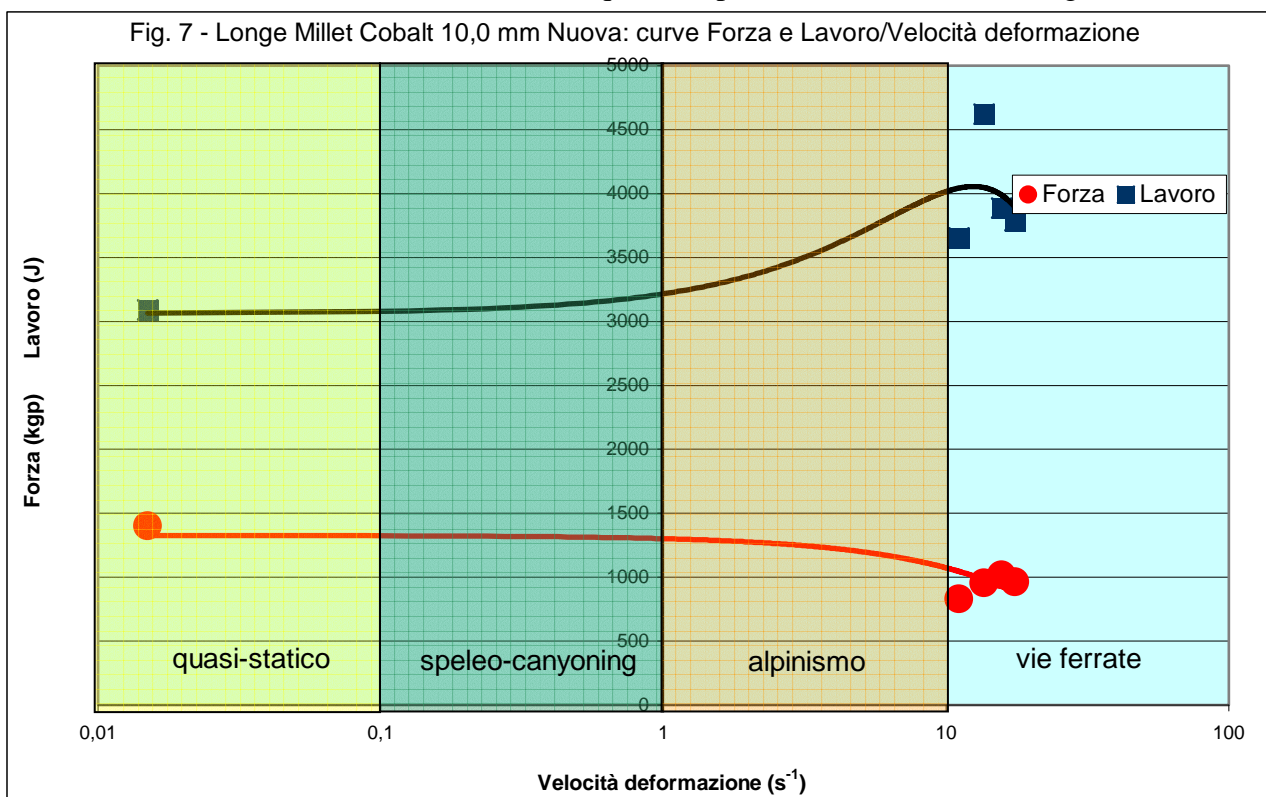


Fig. 6 - Longe Beal Antipodes 10,5 mm Nuova: curve Forza e Lavoro/Velocità deformazione



In fig. 6 sono riportati gli stessi risultati di fig. 5 ma mettendo in relazione la Forza (massima o di rottura) con la Velocità di deformazione e il Lavoro (di allungamento o alla rottura) con la Velocità di deformazione. L'asse delle ascisse è con progressione logaritmica. Le varie gradazioni di colore indicano le aree di competenza, in relazione alla velocità di deformazione, della trazione lenta (quasi-statica), delle sollecitazioni speleo-canyoning, delle sollecitazioni alpinistiche, delle vie ferrate e di altri casi con sollecitazioni istantanee.

Da questo ultimo grafico si evidenzia per la longe "statica" che il carico di rottura dell'attrezzo diminuisce con l'aumentare della velocità di deformazione ma nel campo delle sollecitazioni speleo-canyoning la diminuzione è del tutto trascurabile e sono validi i risultati ottenuti in condizioni quasi-statiche (si conferma una piccola incidenza nel campo alpinistico e la pericolosità della progressione in via ferrata). Per contro la variazione del lavoro che può assorbire la longe aumenta nettamente sia nell'area speleo-canyoning che in quella alpinistica, per diminuire drasticamente all'ingresso nella zona di competenza della progressione in via ferrata. Questa inversione di tendenza accade perché a velocità di deformazione superiori a  $10 \text{ s}^{-1}$  interviene l'effetto nodo abbassando il carico di rottura e quindi la possibilità di ulteriori allungamenti.



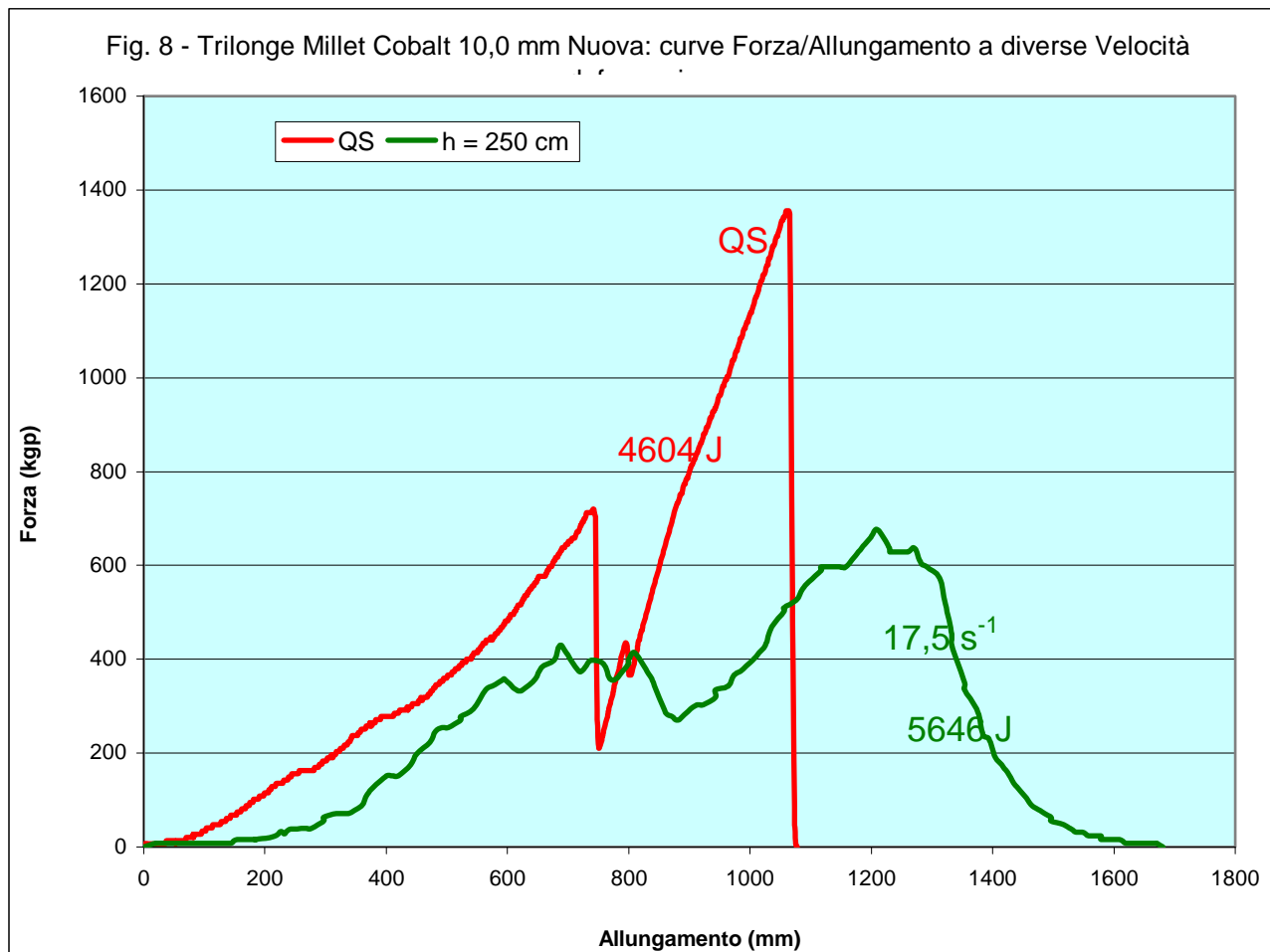
Il grafico di fig. 7 è del tutto analogo nella sostanza al grafico di fig. 6 (ascisse su scala logaritmica) ma si riferisce ad una longe costituita da una corda dinamica (Millet Cobalt 10,0 mm). Rispetto alla longe statica risulta che la capacità di assorbimento dell'energia è di circa un terzo superiore, mentre si abbassa nettamente il valore medio della forza massima e del carico di rottura. Nel campo speleo-canyoning le variazioni sono trascurabili. Più evidenti nel campo alpinismo; molto marcate nel settore via ferrata. Anche in questo caso è evidente che ad alte velocità di deformazione l'effetto nodo abbassa la capacità di tenuta dell'attrezzo, con la "statica" in modo molto netto.

Da un confronto fra longe "statica" e longe "dinamica" appare chiaro che:

1. la "dinamica" garantisce una maggiore capacità di assorbire energia (circa  $1/3$  in più);
2. ha carichi di rottura inferiori di circa  $2/3$ .

Da questi dati risulta che la longe statica ha buone caratteristiche di assorbire energia e mantiene sempre alto il carico di rottura, cosa che invece non si verifica nella longe dinamica dove l'effetto nodo con l'aumento della velocità di deformazione riduce le sue possibilità di catturare energia.

Nella fig. 8 sono riportate le curve Forza/Allungamento relative ad una trilonge con corda dinamica (Millet Cobalt 10 mm) sollecitata con trazione quasi-statica (fino alla rottura) e con velocità di deformazione di  $17,5 \text{ s}^{-1}$  che porta il doppiino con funzioni ammortizzanti a rientrare completamente nelle spire del nodo “guida” (questo movimento genera attrito ed aumenta la capacità di assorbire energia dell’attrezzo) e poi al cedimento dello stesso.



Si conferma quanto verificato nei test precedentemente illustrati: la trilonge ha una capacità di assorbire energia superiore alla longe di quasi 1/3 in condizioni quasi-statiche e ancora di più a trazione veloce. Nel caso specifico si passa dai 1691 J della longe “statica” a trazione lenta, ai 3090 J della longe “dinamica” a trazione lenta, ai 4604 J della trilonge “dinamica” a trazione lenta, ai 5646 J della trilonge “dinamica” a trazione veloce. In sintesi:

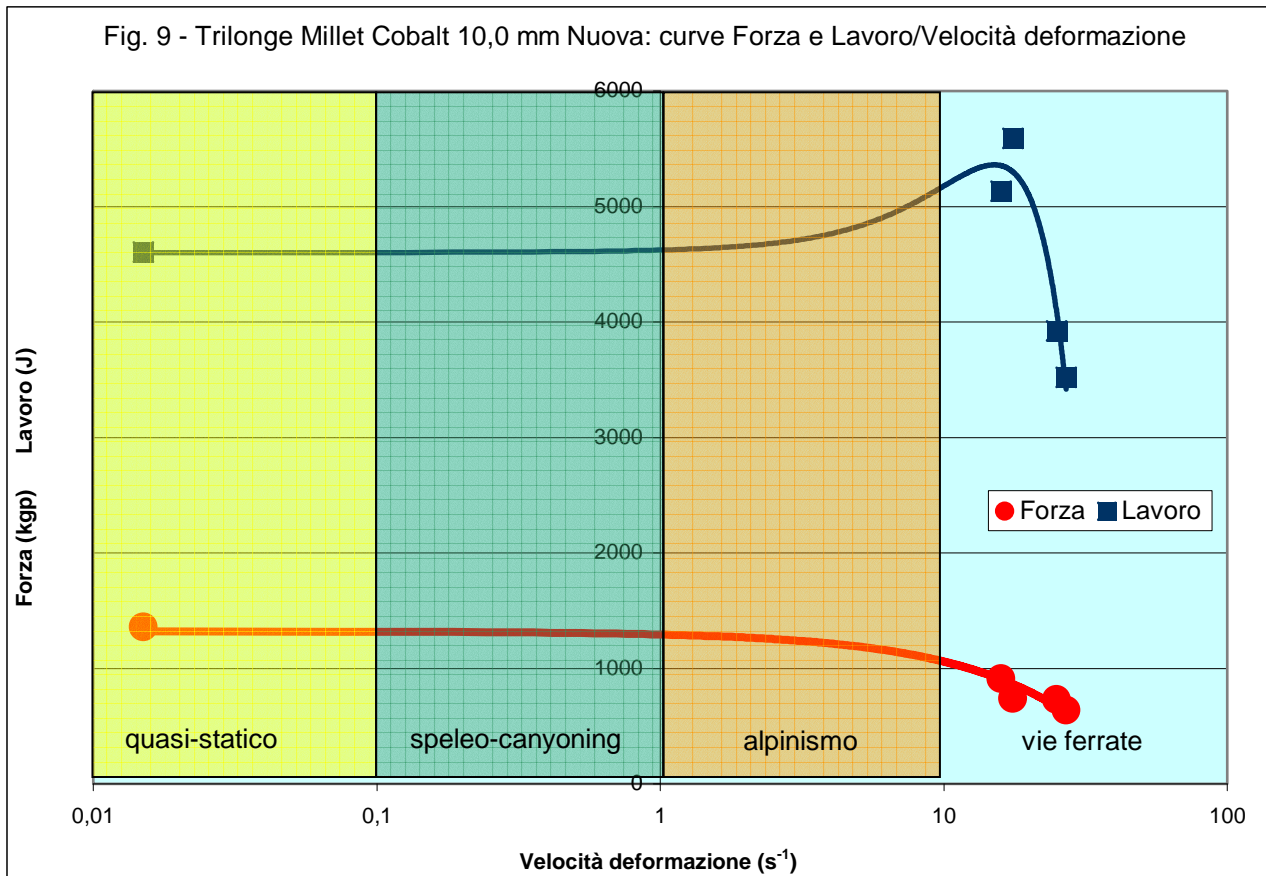
Attrezzo	Veloc. Defor. $V_d$ ( $\text{s}^{-1}$ )	Lavoro rott. $L_r$ (J)	Forza rottura $Fr$ (kgp)
Longe “statica”	Quasi-statica (0,015)	1691	1471
Longe “dinamica”	Quasi-statica (0,015)	3090	1403
Trilonge “dinamica”	Quasi-statica (0,015)	4604	1356
Trilonge “dinamica”	17,5	5646	971

In condizione di trazione veloce la trilonge in corda dinamica assorbe energia pari a tre volte quella assorbita dalla longe statica a trazione lenta. Questo significa che un simile attrezzo può neutralizzare l’energia propria di una caduta di un corpo di 80 kgp da un’altezza di 7,19 m, producendo una forza di rottura di appena 971 kgp (cedimento corda sul nodo). Questa è una constatazione che conforta sulla sicurezza di tale strumento della progressione speleo-canyoning. Anche se dobbiamo parimenti constatare che l’influenza della velocità di deformazione sull’effetto nodo, molto marcata, impedisce con il cedimento precoce di sviluppare tutta la capacità di

deformazione della trilonge. La trilonge ha un aspetto negativo nel suo ingombro e in un certo grado di inaffidabilità nell'esecuzione dei nodi e nell'utilizzo corretto degli stessi.

In fig. 9 il grafico in coordinate semilogaritmiche riporta i dati relativi a test che hanno messo in relazione la velocità di deformazione con i carichi di rottura e, rispettivamente, il lavoro alla rottura. Ancora una volta si conferma che la velocità di deformazione influenza i sopradetti parametri ma: nel campo speleo-canyoning in maniera insignificante;

1. nel campo alpinistico in maniera percettibile, ma non troppo significativa;
2. nella progressione "via ferrata" le variazioni non possono essere trascurabili, anzi occorre mettere in atto dei sistemi aggiuntivi di dissipazione dell'energia.



Sempre in fig. 9 si mostra con chiarezza l'influenza della velocità di deformazione nell'area "vie ferrate", con una diminuzione del carico di rottura sempre più marcato (cedimento sul nodo) e una netta inversione di tendenza nella capacità di assorbire energia. Questa ultima drastica diminuzione di deformabilità è dovuta al fatto che ad alte velocità di deformazione l'effetto nodo prende il sopravvento e non da modo all'attrezzo di esplicare tutte le sue potenziali capacità di assorbire lavoro.

**Conclusioni** – E' evidente che anche una semplice longe di corda dinamica ha una certa capacità di assorbire energia, avendo inoltre un elevato carico di rottura. Una longe in corda dinamica può assorbire quasi il doppio di lavoro, ma si abbassa, e non di poco, il carico di rottura. Una trilonge di corda dinamica può assorbire quasi il doppio dell'energia che assorbe una longe di corda dinamica, ma non si devono superare certi valori di velocità di deformazione (propri della progressione in via ferrata) altrimenti questa capacità viene compromessa dall'aumentare dell'effetto nodo. Se si rimane nel campo speleo-canyoning le variazioni sono minime rispetto ai dati ricavati a trazione quasi- statica. Infine, considerato che la longe (o trilonge) non è l'unico elemento della catena di sicurezza votato ad assorbire energia (questo ruolo lo svolge soprattutto la corda), sembrerebbe

possibile utilizzare anche delle semplici longhe, anche con corda statica, senza per questo compromettere la sicurezza della progressione.

## **Bibliografia**

MARBACH G., ROCOURT J. L., 1980 – *Techniques de la Spéléologie alpine*, Ed. TSA 1980: 1-278

SALVATORI F., CELESTI S., MENICHETTI M, GUERRIERO G., LAMBRI F., 1989 – *Resistenza dei materiali speleo-alpinistici*, CNS – CCS CAI, 1989 pp. 314

Peroni M., Avalle M., Peroni L., 2007 - *Caratterizzazione dell'influenza della velocità di deformazione sul comportamento meccanico di materiali polimerici*, XXXVI Convegno Nazionale Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni (AIAS), Napoli, 2007: pp 78-88

ANGHILERI M., CASTELLETTI L., MILANESE A., MORETTI G., 2009 – *Sviluppo di una macchina per prove a trazione veloce*, La metallurgia italiana, 2009: 57-66

SALVATORI F., MENICHETTI M., CELESTI S., PODERINI L., BOCCHIO D., 2011 – *La Torre CRASC: un nuovo strumento per valutare gli effetti delle sollecitazioni dinamiche sulle attrezzature speleo-alpinistiche e canyoning*, Atti del 21° Congresso Nazionale di Speleologia, Trieste, 2011: pp