

INFLUENZA DELLA VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE NEL CARICO DI ROTTURA DI MOSCHETTONI IN LEGA DI ALLUMINIO E DI ACCIAIO

SALVATORI FRANCESCO¹, MENICHETTI MARCO¹, CELESTI SERGIO¹, PODERINI LUCA¹, BOCCHIO DOMENICO¹

Riassunto – Si analizzano i dati sulla deformabilità, sul lavoro alla rottura e sulla resistenza ottenuti con prove di caduta a velocità di deformazione variabile (Torre CRASC) su moschettoni in lega di alluminio e in acciaio, evidenziando come all'aumentare della velocità di deformazione le caratteristiche di resistenza diminuiscano marcatamente. Queste variazioni vengono messe in relazione ai diversi intervalli dei valori della velocità di deformazione propri della progressione speleologica, torrentistica, alpinistica e ad alte velocità di deformazione (vie ferrate).

Parole chiave: moschettoni acciaio e lega, velocità di deformazione, carico alla rottura, deformabilità e rigidità.

Abstract – We analyze data on the deformability, the work on resistance to breakage and obtained evidence of a fall in variable strain rate (Torre CRASC) on snap aluminum alloy and steel, noting that with increasing strain rate characteristics resistance decreases markedly. These changes are made in relation to the different ranges of values of strain rate of its progression caving, canyoning, mountaineering, high strain rate (via ferrata).

Keywords: snap steel and alloy, strain rate, load at fracture, deformability and stiffness.



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

I moschettoni sono strumenti metallici (in genere in lega di alluminio e in acciaio) a struttura complessa con punti di debolezza concentrati nel tratto apribile (perno di rotazione o sistema di incastro del “dito” apribile). Di fatto il moschettone cede quando la sollecitazione applicata fa raggiungere ad una delle due parti sopra indicate fra parentesi il carico di rottura, che con moschettoni simmetrici è la metà del carico di rottura del moschettone intero.

Dopo la rottura del “dito” apribile, nei moschettoni in lega (fig. 1) si ha la conseguente immediata rottura del tondino (2° cedimento) a valori di forza nettamente inferiori, mentre nei moschettoni in acciaio dopo il 1° cedimento si ha la sola flessione del tondino senza ulteriore rottura (fig. 2).

I moschettoni esaminati sono il “simmetrico” in acciaio della Petzl “Oxan” con carico di rottura dichiarato di 27 kN e il “simmetrico” della Kong (CE0426) in lega di alluminio con carico di rottura dichiarato di 22 kN. Entrambi, nelle specifiche riportate sul dorso del moschettone (fig. 3) o sull’allegato pieghevole illustrativo, sono dichiarati testati esemplare per esemplare.

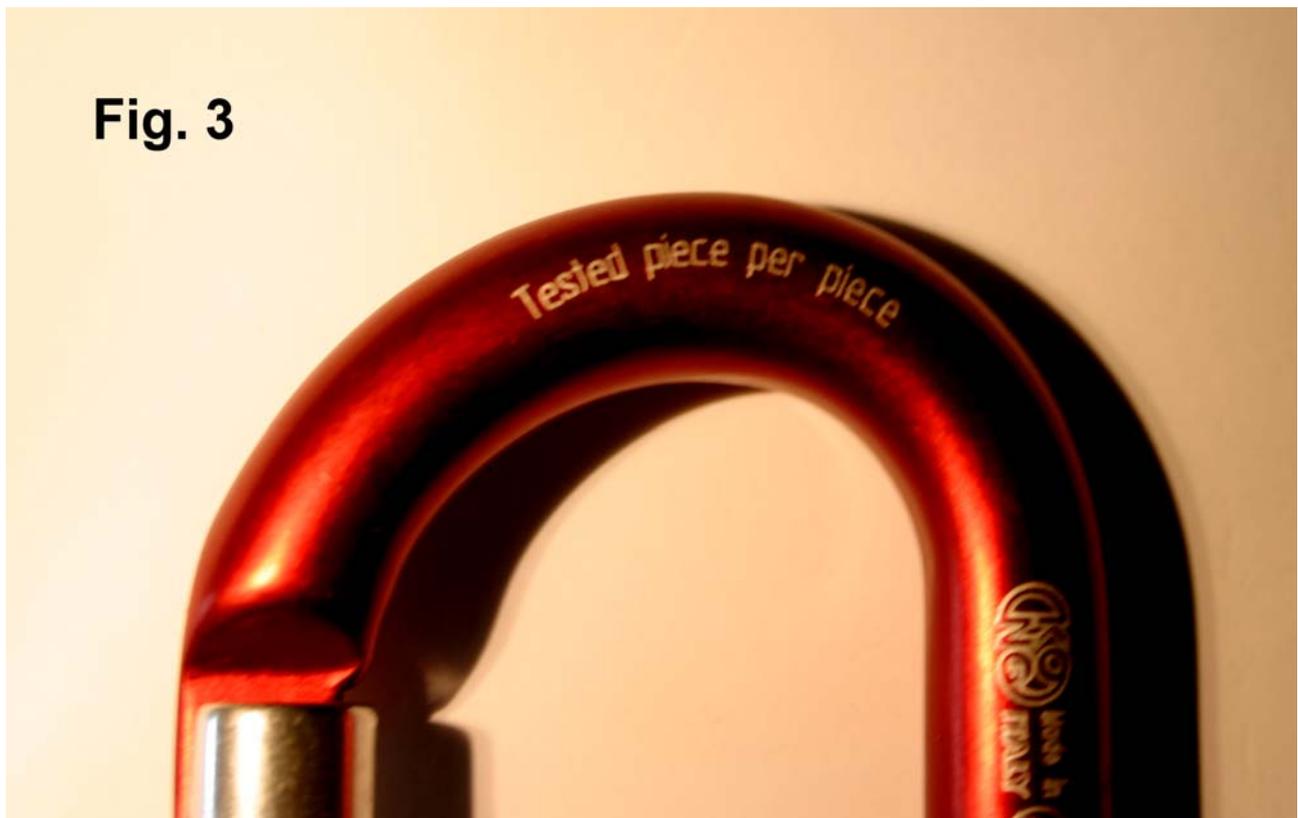
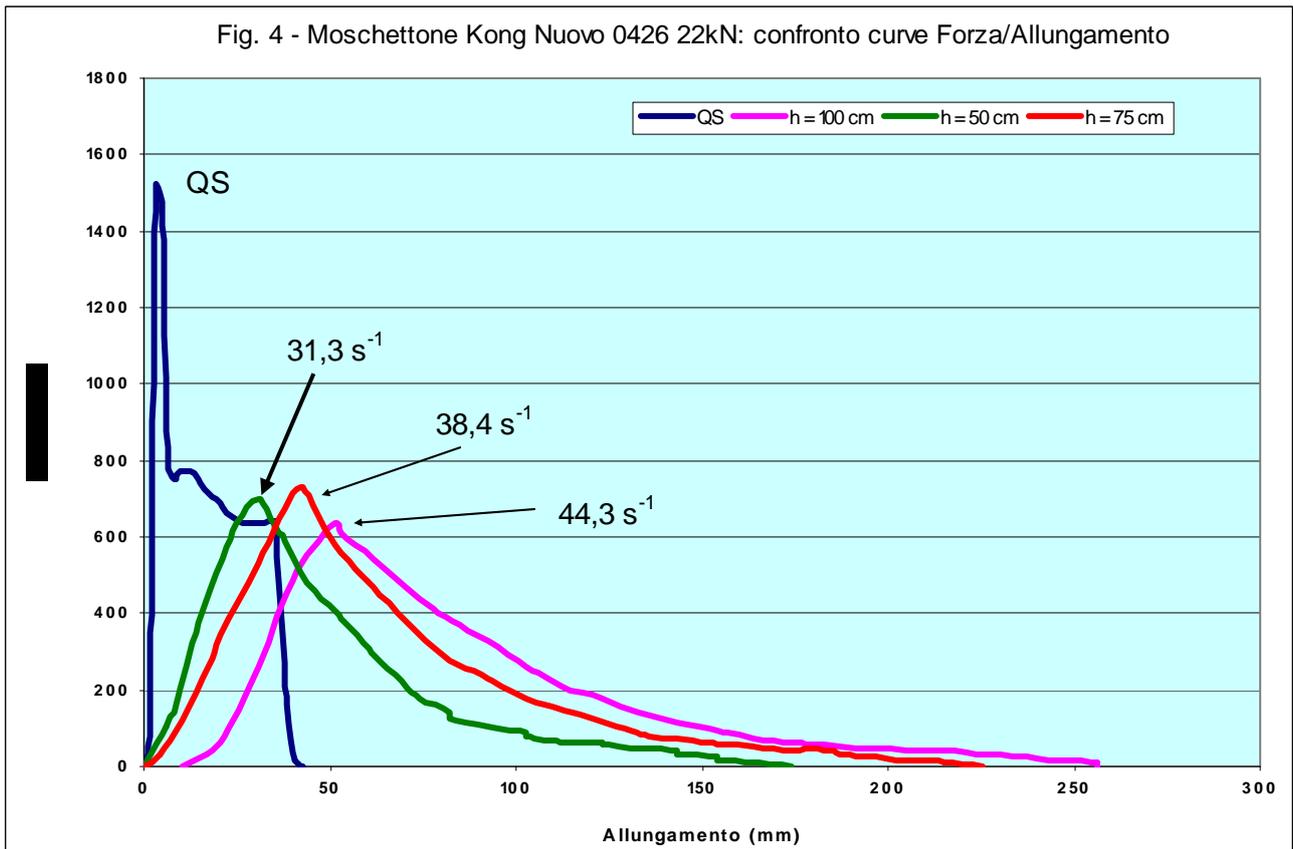


Fig. 3

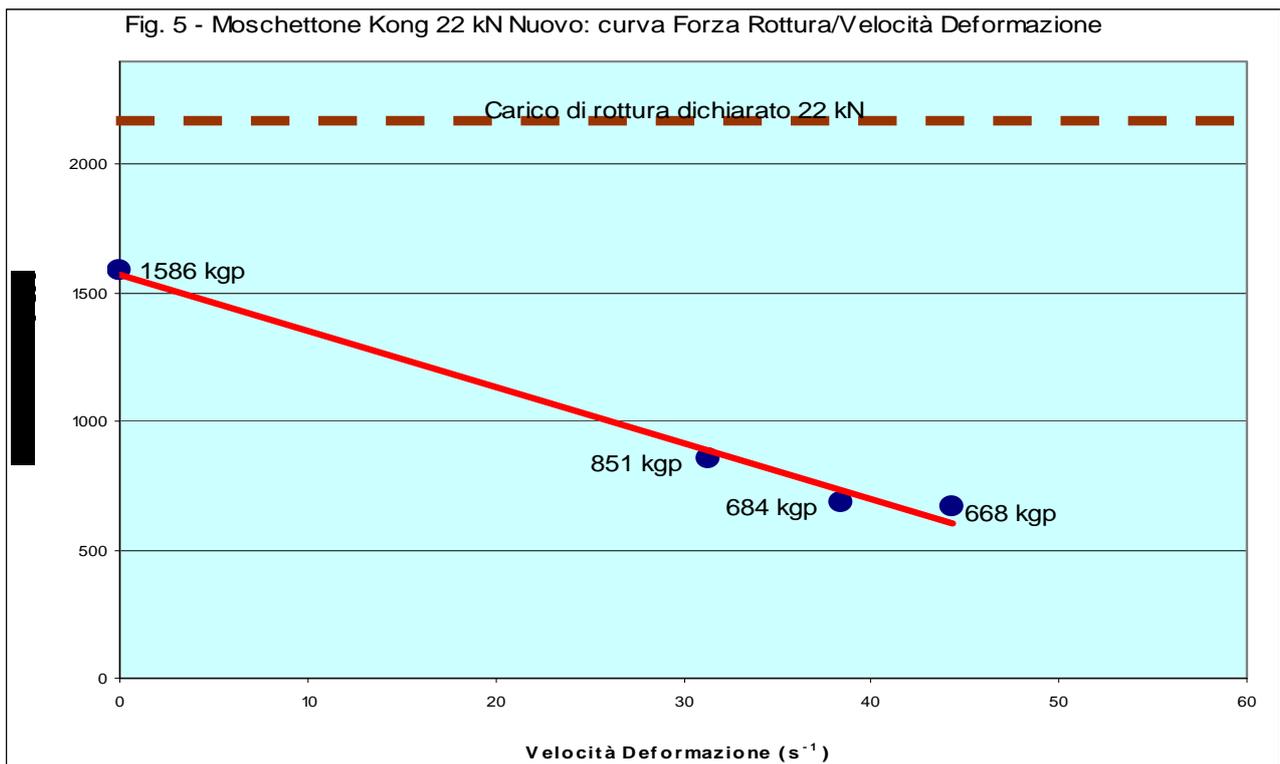
Le prove sono state effettuate a Costacciaro presso il laboratorio a trazione lenta del CENS e la Torre CRASC secondo le modalità descritte (Salvatori et al., 2011). Tutti i risultati riportati sono ottenuti con la media di tre prove uguali.

Moschettone Nuovo in Lega di alluminio Simmetrico Kong Carico di rottura dichiarato 22 kN - Per questo moschettone ($l_0 = 0,1$ m) i risultati (media di tre prove analoghe) sono riportati nel grafico di fig. 4 e la prima cosa da notare che, in condizioni di trazione lenta (QS = quasi-statiche), il risultato sia di 1586 kgp, valore di molto inferiore al carico di rottura dichiarato di 22 kN (circa 2200 kgp). E' questa è una constatazione sperimentale inaspettata che contrasta fortemente con la dicitura riportata nel moschettone “Testato pezzo per pezzo” e rivela la necessità di controlli sulla produzione di attrezzature speleo-alpinistiche e canyoning.

Sempre nel grafico di fig. 4 si rendono evidenti anche altri elementi di analisi molto significativi: a velocità di deformazione crescenti il carico di rottura si abbassa drasticamente, posizionandosi fra i 600 kgp e i 700 kgp, mentre la rigidità tende a diminuire man mano che aumenta la velocità di deformazione.



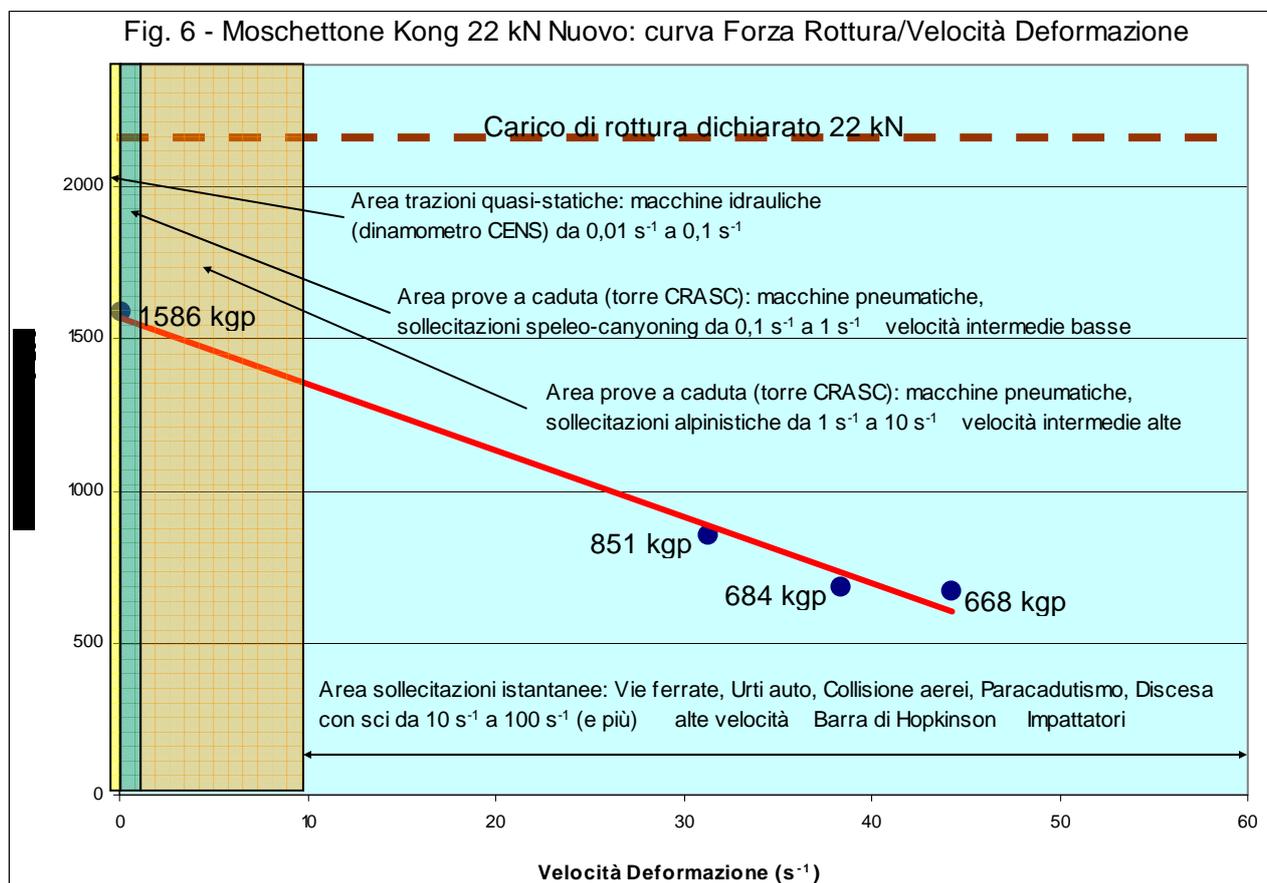
Anche questo risultato è sorprendente in quanto i test che in genere vengono eseguiti su provini metallici e plastici portano a concludere che con l'aumento della velocità di deformazione aumenta la loro resistenza alla rottura, la loro rigidità e si amplia il campo di elasticità reversibile (Peroni M. et al., 2007, Anghileri M. et al., 2009). Il contrario di quanto si verifica con il moschettone in esame.



Evidentemente la complessità della struttura “moschettone” con i punti di debolezza che ha nella parte apribile fanno sì che questa anomalia (supponiamo solo apparente) prenda il sopravvento e abbassi tutte le caratteristiche di questo attrezzo.

In fig. 5 sono riportati i dati relativi al Carico di rottura del moschettone in funzione della variazione di Velocità di deformazione (ogni dato è la media di tre test uguali). È marcata la riduzione di F_r ed è evidente anche la fragilità dell’attrezzo (fig. 1). Si conferma che la velocità di deformazione, aumentando, produce drastiche riduzioni della capacità a resistere alla rottura di questo moschettone in lega di alluminio.

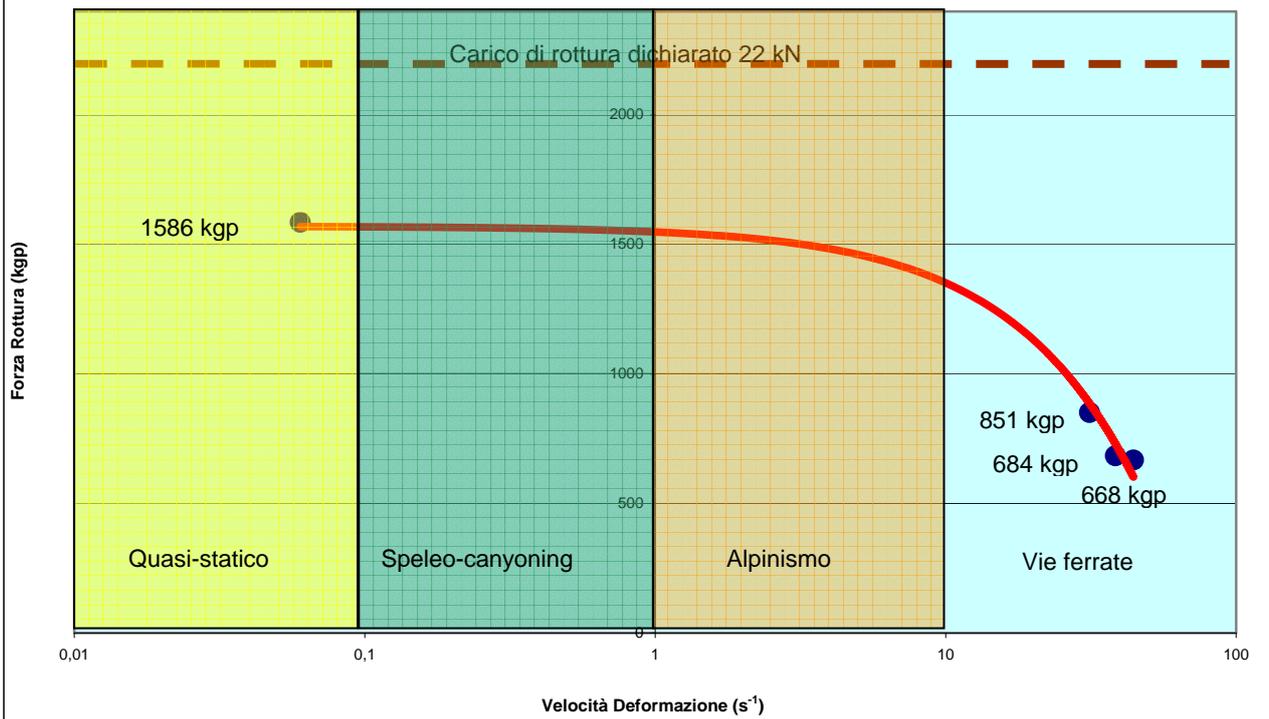
Ma per comprendere quanto questa diminuzione del carico di rottura incida nelle tipiche attività speleo-alpinistiche e canyoning occorre rapportare il tutto agli intervalli di V_d rispettivamente legati alle sollecitazioni possibili: 1) nella progressione speleo, 2) nella progressione canyoning, 3) nella progressione alpinistica, 4) nella progressione in vie ferrate e negli altri casi di rapidissime sollecitazioni come le esplosioni, gli urti fra veicoli e velivoli, il paracadutismo e altre attività similari. Nella fig. 6 queste aree sono riportate con diverse tonalità. Si noti come la curva $F_r = f(V_d)$ decresca all’aumentare della velocità di deformazione, anche nelle aree proprie della progressione speleo-canyoning e, soprattutto, nell’area alpinismo. Il decremento maggiore si verifica nell’area via ferrate.



Ancora più chiara appare l’incidenza della diminuzione del Carico di rottura in relazione alle varie aree delle progressioni se nel grafico di fig. 6 l’asse delle ascisse è espresso in progressione logaritmica, come appunto avviene in fig. 7.

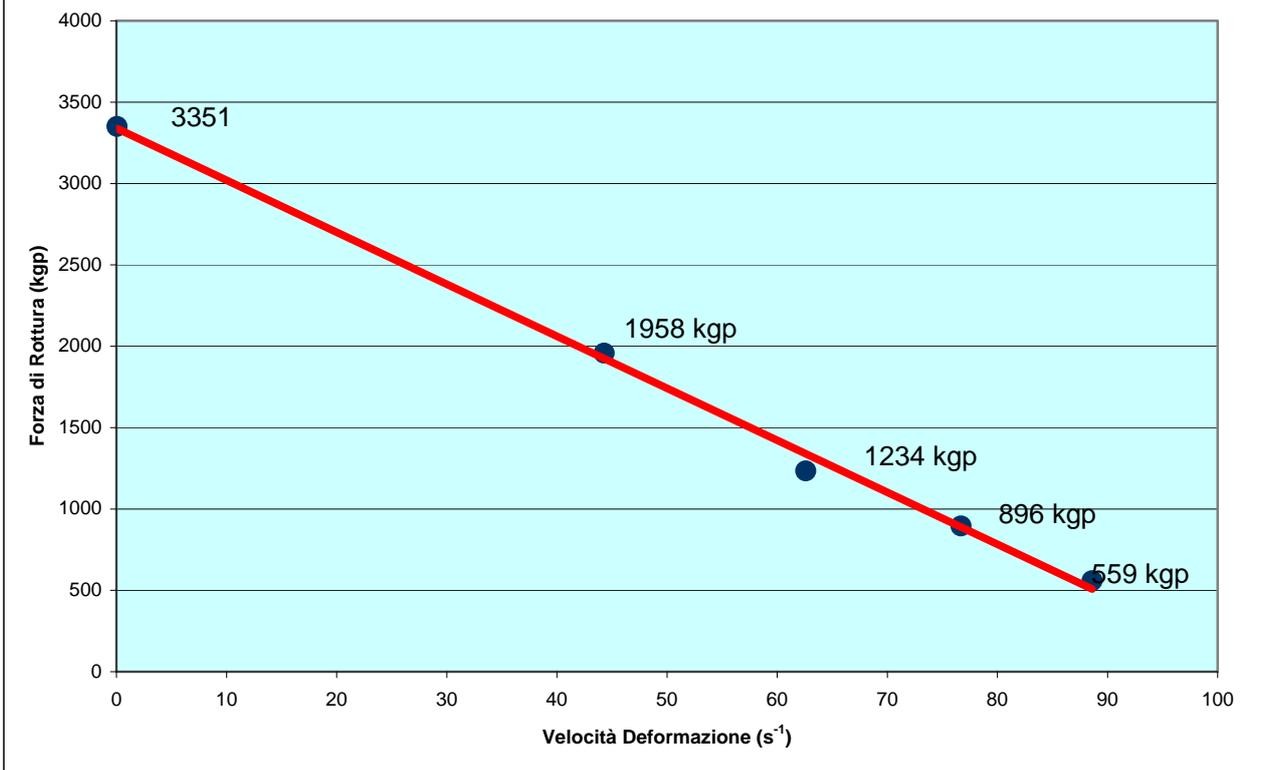
Nell’area speleo-canyoning la diminuzione della Forza di rottura F_r per effetto dell’aumento della Velocità di deformazione V_d è minima e tutto sommato trascurabile (se si trascurava il fatto che il carico di rottura constatato a trazione quasi-statica è di ben 614 kgp inferiore a quello dichiarato dal costruttore!). Nell’area alpinismo l’influenza delle variazioni di Velocità di deformazione hanno maggiore effetto, fino al 14 %. Ma l’influenza è molto netta solo nell’area ad alte velocità, tipica delle vie ferrate.

Fig. 7 - Moschettone Kong 22 kN Nuovo: curva Forza Rottura/Velocità Deformazione

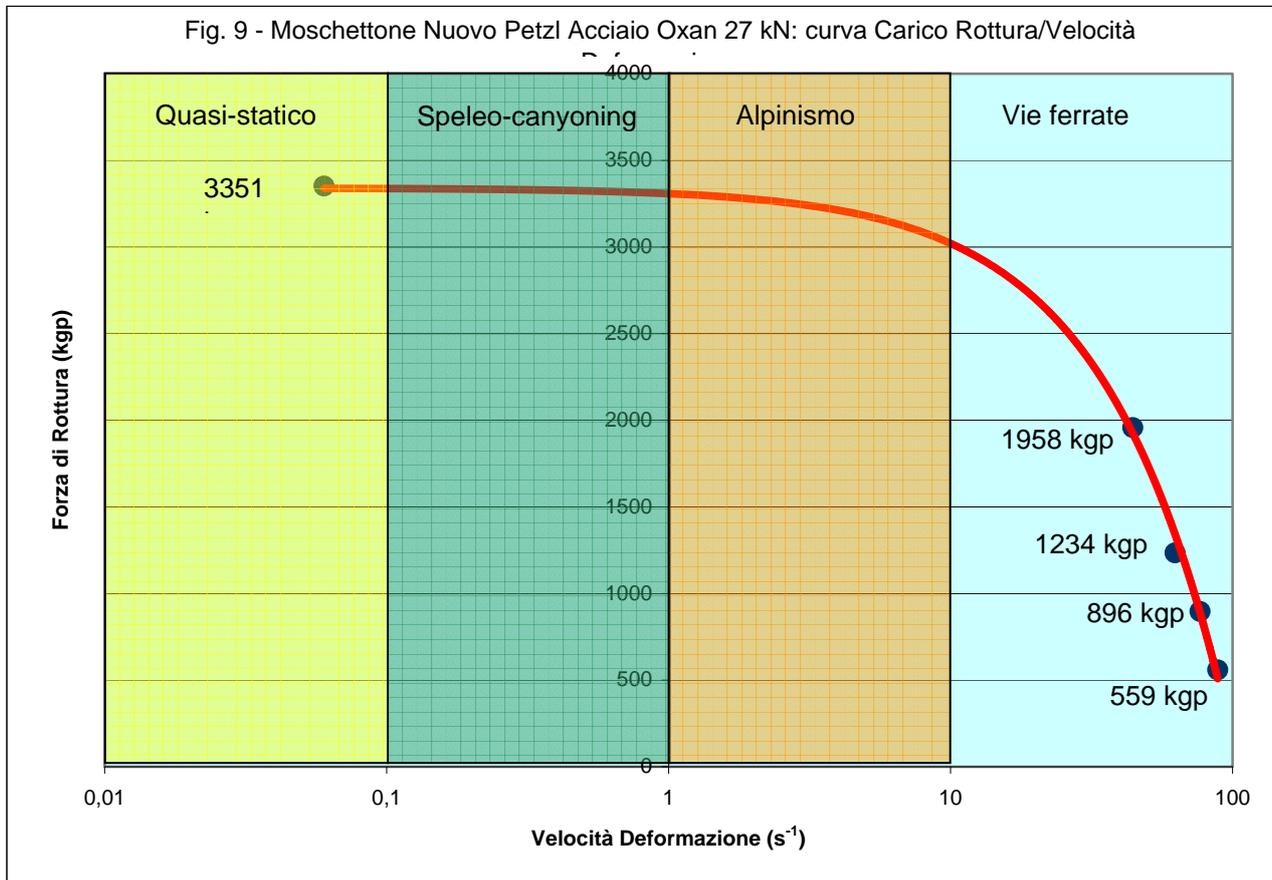


E' la prima volta che si ottiene un risultato di questo tipo e si dà una risposta quantitativa sugli effetti delle sollecitazioni dinamiche su uno degli elementi della catena di sicurezza della progressione speleo-alpinistica e canyoning. E tutto sommato si può concludere che quanto viene ricavato in condizioni quasi-statiche è valido anche per le sollecitazioni prevedibili per la progressione speleo (e anche canyoning). Questo è un po' meno vero per la progressione alpinistica. Per le vie ferrate invece si conferma tutta la pericolosità della sua situazione, con la conseguente imprescindibile necessità di utilizzare strumenti di dissipazione dell'energia.

Fig. 8 - Moschettone Nuovo Petzl Acciaio Oxan 27 kN: curva Carico Rottura/Velocità Deformazione



Moschettone Nuovo in acciaio Simmetrico Petzl Oxan Carico di rottura dichiarato 27 kN - Per questo moschettone ($l_0 = 0,1$ m) i risultati sono riportati nel grafico di fig. 8 e ciascuno è il risultato della media di tre test uguali. E' evidente un decremento della forza di rottura con l'aumentare della velocità di deformazione. Ma per avere una visione chiara di quanto questo decremento possa incidere sulla sicurezza nei vari tipi di progressione, occorre trasformare il grafico di fig. 8 in un grafico semilogaritmico (fig. 9) e indicando opportunamente con diverse gradazioni di colore le aree proprie della progressione speleo-canyoning, alpinismo, vie ferrate.



E' netta la diminuzione del Carico di rottura con l'aumentare della Velocità di deformazione, che passa dai 3351 kgp (QS) ai 559 kgp ($Vd = 88,6 s^{-1}$). E' questo un risultato che a prima vista può sembrare molto grave ma, per avere un corretta percezione dell'influenza di questo fenomeno sulla In questo ultimo grafico appare chiaro come l'influenza della velocità di deformazione sia:

1. poco rilevante nel campo speleo-canyoning;
2. abbia un minimo di incidenza nel campo alpinistico;
3. abbia una fortissima influenza nella progressione in via ferrata.

Conclusioni - Da un raffronto fra moschettoni in acciaio e moschettoni in lega di alluminio (fig. 7 e fig. 9) risalta evidente che i moschettoni in lega sono maggiormente influenzati dalle variazioni della velocità di deformazione. Queste influenze, se si rimane nel campo delle sollecitazioni proprie della progressione speleologica e canyoning, non sono quantitativamente tali da evidenziare problemi per la sicurezza. Nel campo alpinistico i moschettoni in acciaio mantengono le loro caratteristiche di affidabilità, mentre quelli in lega di alluminio richiedono un po' più di attenzioni, specie se si tiene conto della loro proprietà di essere corrosi in condizioni di ambiente basico, come appunto è l'ambiente carsico superficiale e sotterraneo (Salvatori, 1989).

Resta comunque il fatto, constatato sperimentalmente in modo inconfutabile (tre test con valori coerenti), che il moschettone in lega esaminato ha dato in condizioni di trazione quasi-statica un risultato inferiore del 26 % rispetto al valore di carico di rottura dichiarato dal costruttore. E questo è già un elemento preoccupante che porta a ritenere indispensabile un controllo, indipendente, di

qualità delle attrezzature speleo- alpinistiche e canyoning messe in commercio. Inoltre questo fatto è ancora più sorprendente in quanto sullo stesso moschettone è marcata (fig. 3) la dicitura “Testato pezzo per pezzo”.

Bibliografia

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

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

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